

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри МАХНВ
_____ Я.М. Корнієнко

(підпис)
“ ” _____ 2019 р.

МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

з спеціальності: 133 Галузеве машинобудування

освітня програма (спеціалізація): Обладнання хімічних, нафтопереробних та целюлозно-паперових виробництв

на тему: Модернізація установки ректифікації водяно-метилової суміші з розробкою ректифікаційної колони та холодильника

Виконав студент 6-го курсу, групи ЛН-81мп

Чайківський Костянтин Вікторович

_____ (підпис)

Керівник проекту канд. техн. наук, доцент, І. А. Андреев

_____ (підпис)

Консультанти:

охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

канд.техн.наук, доц. І.М. Ковтун

_____ (підпис)

розробка стартап-проекту

доц., канд. економ. наук Н.В. Юдіна

_____ (підпис)

технологія виготовлення деталі “ковпачок”

ст. викл., канд. техн. наук Я.Г. Двойнос

_____ (підпис)

автоматичний контроль і керування процесом

канд. техн. наук А.Ю. Сазонов

_____ (підпис)

Рецензент

_____ (посада, вчене звання, науковий степінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____ К. В. Чайківський

Київ – 2019

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО ”

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

Освітньо-кваліфікаційний рівень – «Магістр»

спеціальність: 133 - Галузеве машинобудування

освітня програма (спеціалізація): Обладнання хімічних, нафтопереробних та целюлозно-паперових виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Я.М. Корнієнко
«___» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Чайківському Костянтину Вікторовичу

1. Тема дисертації: «Модернізація установки ректифікації водяно-метилової суміші з розробкою ректифікаційної колони та холодильника»

керівник дисертації Андреев І. А. кандидат технічних наук, доцент

затверджені наказом по університету від “01” листопада 2019 р. № 3807 – с.

2. Термін подання студентом проекту: 1 грудня 2019 р.

3. Вихідні дані до проекту: Продуктивність ректифікаційної колони – 8 т/год. Початкова температура води – 283К. Кінцева температура води – 329К.

4. Зміст пояснювальної записки:

а) основна частина: обґрунтувати вибір конструкцій ректифікаційної колони та холодильника, виконати розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій, а саме, технологічний, параметричний, конструктивний, гідравлічний розрахунки, розрахунки на міцність і надійність елементів конструкцій цих апаратів;

б) маркетинг стартап-проектів: створити стартап-проект модернізованого апарату;

в) охорона праці: провести аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів, які пов'язані з експлуатацією установки, запропонувати заходи щодо обмеження їх дії, виконати відповідні розрахунки, викласти основні правила безпечної експлуатації установки та дій обслуговуючого персоналу у надзвичайних ситуаціях;

г) частина автоматичного керування: скласти та обґрунтувати схему автоматизованого керування установкою; скласти специфікацію приладів, що комплектують схему;

д) технологія машинобудування: розробити маршрутні карти виготовлення трубної решітки, виконати розрахунки режимів різання, розробити пристрій для свердління.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо):принципова схема установки – А1, схема автоматичного керування – А1, складальні креслення ректифікаційної колони – А0, холодильник – А1, кришка – А1, плакат– А1, плакат – А1, плакат – А1, плакат – А1, ілюстрація технічної ідеї патенту – А3.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Ковтун І.М.		
Маркетинг стартап-проектів	Юдіна Н.В.		
Технологія виготовлення «ковпачка» ректифікаційної колони	Двойнос Я.Г.		
Автоматичний контроль і керування процесом	Сазонов А.Ю.		

7. Дата видачі завдання 01 вересня 2019 р.

РЕФЕРАТ

УДК 661.721.1

Магістерська дисертація на тему «Модернізація установки ректифікації водяно-метилової суміші з розробкою ректифікаційної колони та холодильника» /КПІ ім. Ігоря Сікорського; Керівник І. А. Андреев. – К., 2019. Викон. – К. В. Чайківський- – Бібліогр.: с. 121.

Пояснювальна записка складається зі вступу, восьми розділів, висновків і списку посилань з 36 найменувань. Загальний обсяг записки становить 180 сторінок, з них 121 сторінок основного тексту, 36 рисунків, 33 таблиць.

Мета магістерської дисертації – модернізація установки ректифікації водяно-метилової суміші з розробкою ректифікаційної колони та холодильника

Записка містить опис технологічного процесу, вибір типу апаратів, їх місце в технологічній схемі, технічну характеристику апаратів, обґрунтування вибору конструкцій апаратів, що проектується і принцип дії їх основних складальних одиниць та деталей, порівняння основних показників розробленої конструкції апаратів з аналогами, патентне дослідження конструкцій апаратів. Наведено заходи, щодо охорони праці, рекомендації з монтажу та експлуатації. Проведено модернізацію установки та розроблено стартап проект.

Проведено розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій ректифікаційної колони та холодильника. Визначено рівень стандартизації та уніфікації. Розроблено автоматичну схему керуванням процесом.

МЕТАНОЛ, РЕКТИФІКАЦІЙНА КОЛОНА, ХОЛОДИЛЬНИК, ТАРИЛКИ,
КОВПАЧОК

РЕФЕРАТ

УДК 661.721.1

Магистерская диссертация на тему «Модернизация установки ректификации водно-метиловой смеси с разработкой ректификационной колонны и холодильника» / КПИ им. Игоря Сикорского; Руководитель И. А. Андреев. - М., 2019. Исп. - К. В. Чайкивський- - Библиогр .: с. 121.

Пояснительная записка состоит из введения, восьми глав, заключения и списка ссылок из 36 наименований. Общий объем записки составляет 180 страниц, из них 121 страниц основного текста, 36 рисунков, 33 таблиц.

Цель магистерской диссертации - модернизация установки ректификации водно-метиловой смеси с разработкой ректификационной колонны и холодильника

Записка содержит описание технологического процесса, выбор типа аппаратов, их место в технологической схеме, техническую характеристику аппаратов, обоснование выбора конструкций аппаратов, проектируемых и принцип действия их основных сборочных единиц и деталей, сравнение основных показателей разработанной конструкции аппаратов с аналогами, патентное исследование конструкций аппаратов . Приведены мероприятия по охране труда, рекомендации по монтажу и эксплуатации. Проведена модернизация установки и разработано стартап проект.

Проведены расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность конструкций ректификационной колонны и холодильника. Определен уровень стандартизации и унификации. Разработан автоматическую схему управлением процессом.

МЕТАНОЛ, РЕКТИФИКАЦИОННАЯ КОЛОНА, ХОЛОДИЛЬНИК, ТАРЕЛКИ,
КОЛПАЧОК

ABSTRACT

UDC 661.717.5

The Master's degree project on the theme "Modernization of the installation of rectification of water-methyl mixture with the development of a distillation column and refrigerator" / Igor Sikorsky KPI; The thesis supervisor I.A. Andreev. – K., 2019. The developer K.V. Chaykivsky- Bibliogr: p. 121.

The explanatory note consists of an introduction, eight sections, conclusions and a list of links of 36 titles. The total volume of the note is 180 pages, including 121 pages of the main text, 36 figures, 33 tables.

In the work the technological process for the production of methyl alcohol is described with the development of a distillation column and a refrigerator

The note contains a description of the technological process, a choice of the type of apparatus, their place in the technological scheme, technical characteristics of the apparatus, the rationale for the choice of apparatus designs designed and the principle of operation of their main assembly units and parts, a comparison of the main indicators of the developed apparatus design with analogues, patent research of apparatus designs. Occupational safety measures, recommendations for installation and operation are given. The installation was modernized and a startup project was developed.

Calculations are carried out confirming the operability and reliability of the distillation column and refrigerator designs. The level of standardization and unification is defined. An automatic process control circuit has been developed.

METHANOL, RECTIFICATION COLUMN, REFRIGERATOR, PLATES, CAP

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Арк. 10	

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Арк. 11	

Перелік скорочень, умовних позначень та термінів

Умовні позначення:

h – висота, м;

c – прибавка до розрахункової товщини, м;

D, d – діаметри, м;

N – потужність, Вт;

G – масова витрата, кг/с;

P – тиск, Па;

T_K – температура кипіння суміші початкової концентрації, К;

T_{HK} – температура кипіння метанолу, К;

ρ – густина, кг/м³;

ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості, м²/с;

L_F – масова продуктивність колони за вихідною сумішшю, кг/с;

L_W – масова продуктивність колони за кубовим залишком, кг/с;

L_D – масова продуктивність колони за дистилятом, кг/с;

\bar{x}_F – масова частка етанолу у початковій суміші;

\bar{x}_D – масова частка етанолу у дистиляті;

\bar{x}_W – масова частка етанолу у кубовому залишку;

x_F – концентрація живлення в молярних частках;

x_W – концентрація кубового залишку в молярних частках;

x_D – концентрація дистиляту в молярних частках;

f – витрата живлення;

M_{HK} – молярна маса метанолу;

M_{BK} – молярна маса етанолу;

α – коефіцієнт активності;

y_F^* – рівноважна концентрація НКК у парі.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Вступ

Виробництво спирту відіграє важливу роль в суспільстві, він використовується в якості палива, в медичних цілях та алкогольній промисловості. Спирти добувають за допомогою перегонки та ректифікації.

Метою даного проекту є підвищення продуктивності процесу ректифікації метилового спирту, за допомогою модернізації ковпачків ректифікаційної колони.

Виробництво метилового спирту має велике значення для хімічної, харчової та нафтопереробної промисловості. Він слугує як селективний розчинник для очистки бензинів від меркаптанів, також для отримання формальдегіду.

На лінії виробництва метилового спирту важливими елементами є ректифікаційна колона та холодильник.

Ректифікація – це процес розділу подвійних або багатокомпонентних сумішей за рахунок протипоточного масообміну між паром та рідиною. Розділення рідких сумішей на майже чисті компоненти, які відрізняються температурами кипіння, шляхом багаторазового випаровування рідини і конденсації пару.

Охолодження — це відвід надлишкового тепла від робочого тіла за рахунок контакту з циркулюючою охолоджуючою рідиною. В кожухотрубному холодильнику один з теплоносіїв рухається в трубному просторі, інший – в міжтрубному просторі. При цьому теплота від більш нагрітого теплоносія передається менш нагрітому. Частіше всього використовують зворотній рух теплоносіїв, що сприяє найбільш ефективному теплообміну.

Метанол (CH_3OH) — це один із найважливіших по значенню і масштабам виробництва органічний продукт, виготовлений хімічною промисловістю. В хімічній промисловості метанол використовують в якості поліпродукту для багатьох промислових синтезів. Останнім часом планується використання метанолу в якості джерела енергії, а сама палива для теплових електростанцій.

Завдання на проектування одержано під час виробничої практики в інституті газу НАН України 1 вересня 2019.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

низькокиплячих з'єднань разом зі значною кількістю парів метанолу. Пари надходять до конденсатора 9; конденсат після відокремлення від газу в сепараторі направляється в збірник 10. Частина даного конденсату використовують як флегму для зрошення колони 8, а інша частина направляється до колони екстрактивної перегонки 11. Кубова частка з колони 8 теж надходить до колони 11.

Колона 11 зігрівається гострим паром і зрошується водою. Якщо розбавляти рідини в колоні водою, то зруйнуються азеотропні зв'язки і стає легше видаляти домішки із спирту. Пароподібні домішки конденсуються в апараті 12; частина конденсату повертається на зрошення колони 11, решту виводять із системи. З'єднання, які не конденсувалися, після відділення від рідини в сепараторі 3 видаляють в атмосферу. З нижньої частини колони 11 розбавлений метанол передають до колони 13. Концентрований метанол із конденсатора 14 направляють в колону 8 для виділення чистого метанола. Частину кубової рідини колони 13 надходить на зрошення колони 11, решту виводять з системи.

1.2 Вибір типу ректифікаційної колони та її призначення у технологічному процесі

При підборі типу апарата звертають увагу на його конкретні властивості.

Ректифікаційну колону бувають тарілчасті та насадкові. Тарілчасті колони, які мають малий діаметр значно дорожчі ніж насадкові. Зі збільшенням діаметру тарілчасті колони дешевшають відносно насадкових. [2].

Для розділу суміші «метанол-вода» найкраще використати тарілчасту ректифікаційну колону. Тарілчасті колони з ковпачками часто використовують при ректифікації. Пара з попередньої тарілки надходить в парові патрубки ковпачка і барботує через шар рідини, в яку на частину занурено ковпачок.

Використовуємо тарілчасто-ковпачкову ректифікаційну колону безперервної дії.

В даному технологічному процесі тарілчасто-ковпачкова ректифікаційна колона використовується для розділення суміші метанолу.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Холодильник призначений для того, щоб охолоджувати метанол. В якості охолоджувальної рідини використовуємо воду. Метанол, який охолоджуємо, поступає до трубного простору, а вода поступає до міжтрубного простору. Для цього процесу потрібен холодильний апарат, що відповідає критеріям, які задані технологічними умовами. За різницею температур що знаходиться між теплоносіями, не потрібні допоміжні засоби, які знімають термічні напруження.

Так як в холодильнику не потрібні певні умови протікання процесу, крім не значних температурних навантажень, обираємо кожухотрубний холодильник. Апарати такого типу найбільш розповсюдженні та мають зручну експлуатацію. Область застосування: хімічна.

2 Технічна характеристика ректифікаційної колони та холодильника

Технічна характеристика колони наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика ректифікаційної колони

Параметри, розміри	Розмірність	Значення
Масова продуктивність колони за вихідною сумішшю	кг/с	8
Масова частка метанолу у початковій суміші	%	39
Масова частка метанолу у дистиляті	%	95
Масова частка метанолу у кубовому залишку	%	2
Розрахунковий тиск у колоні	МПа	0,1
Діаметр колони	м	2
Тип ректифікаційної колони		тарілчаста
Тип масообмінної тарілки		багато-ковпачкова
Загальна кількість тарілок	шт.	18
Кількість тарілок у верхній частині	шт.	8
Кількість тарілок у нижній частині	шт.	10
Висота колони	м	10

Параметри, розміри	Розмірність	Значення
Температура початкової суміші	К	337
Середовище в апараті	токсичне, корозійне	
Матеріал деталей, що стикається з сумішшю	сталь 12Х18Н10Т	
Матеріал прокладки	пароніт.	
Маса		

Технічна характеристика холодильника наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічна характеристика ректифікаційної колони

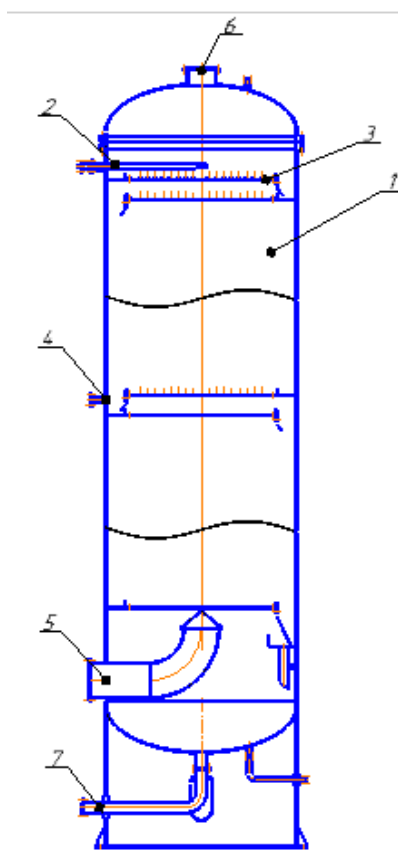
Параметри, розміри	Розмірність	Значення
Розрахунковий тиск у трубному просторі	МПа	0,1
Розрахунковий тиск у міжтрубному просторі	МПа	0,1
Початкова температура метанолу	К	340
Кінцева температура метанолу	К	298
Початкова температура води	К	283
Кінцева температура води	К	329
Загальна поверхність теплообміну	м ²	121
Загальна кількість труб	шт.	111
Внутрішній діаметр апарата	м.	0,6
Довжина труб	м.	6
Товщина стінки апарата	м.	0,002
Маса апарату	кг.	1980
Висота апарата	м	0,97
Довжина апарата	м	6,72

3 Опис та обґрунтування вибраної конструкції апарата

3.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей апарата

Ректифікаційна колона — технологічний апарат, призначений для розділення двох рідин з різною температурою кипіння [2].

Схема конструкції, основних складальних одиниць та деталей колони наведений на рисунку 3.1 [2].



1 – корпус колони; 2 – вхід флегми; 3 – ковпачкова тарілка; 4 – вхід початкової суміші; 5 – вхід кубового залишку; 6 – вихід дистиляту; 7 – вихід кубового залишку.

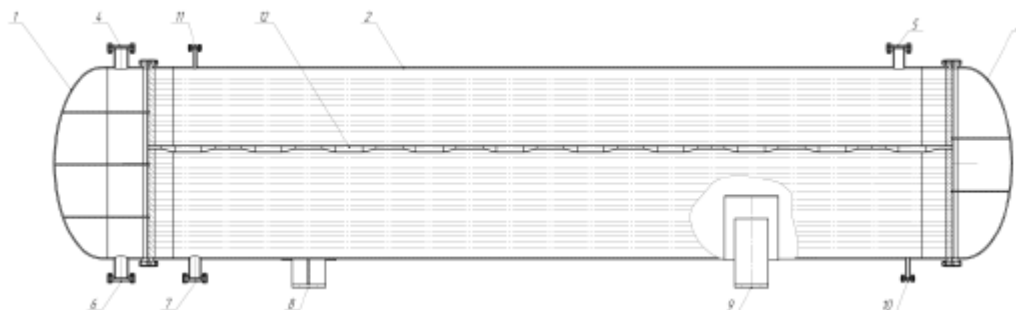
Рисунок 3.1 – Конструктивна схема ректифікаційної колони

Тарілчаста ректифікаційна колона з ковпачками розділяє дві суміші рідини. Подача початкової суміші відбувається в середній частині ректифікаційної колони

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

на тарілку, на якій відбувається змішування з флегмою, яка подається з верхньої частини колони та стікає до нижньої частини колони. Під час руху до низу суміш контактує з паром, яка утворилася при закипанні кубового залишку.

Для охолодження метанолу після упарювання застосовуємо кожухотрубний холодильник, який зображено на рисунку 3.2.



- 1 – розподільна камера, 2 – корпус, 3 – кришка,
 4 – штуцер для входу метанолу, 5 – штуцер для виходу води,
 6 – штуцер для виходу метанолу, 7 – штуцер для входу води,
 8 – нерухома опора, 9 – рухома опора,
 10 – штуцер дренажний, 11 – штуцер для виходу пари, 12 – труби.

Рисунок 3.2 – Схема теплообмінного апарату

В трубний простір, подається упарений метанол, який охолоджується проходячи через труби. До між трубного простору поступає вода, як при обтіканні трубного пучка охолоджує труби з метанолом, після цього відводиться з апарату.

Корпус має циліндричну форму, в якій встановлено трубну решітку з трубним пучком.

3.2 Порівняння основних показників розробленої конструкції з аналогами

Мета: порівняння різних існуючих ректифікаційних колон та холодильників з нашими апаратами.

Порівняння ректифікаційної колони виконуємо за типом тарілок, які

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

поділяються на сітчасто-клапанні, ковпачкові, сітчасті.(таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Типи тарілок і межі застосування [2].

Тип тарілки		Сітчаста	Сітчасто-клапанна	Ковпачкова
Продуктивність, кг/г		8000 (1)	8000 (1)	8000 (1)
Діаметри, мм		2000 (1)	2000 (1)	2000 (1)
Діапазон сталої роботи		2 (0)	3-3,5 (1)	4,5 (2)
Область застосування	Тиск	немає обмежень (1)	вакуум або атмосферний (0)	немає обмежень (1)
	Умови	Стабільні витрати (1)	Нестабільні витрати (0)	Стабільні витрати (1)
Кількість балів		4	3	6

За порівнянням типу тарілок можна зробити висновок, що найефективніша та найбільш підходяща тарілка – це ковпачкова.

Висновок: вибираємо ректифікаційну колону тарілчасту з ковпачками.

Основні вимоги при виборі холодильного апарата є: забезпечення коефіцієнту теплопередачі; малий гідравлічний опір; матеріалоемність та габарити; уніфікація вузлів та деталей; кращій діапазон роботи за робочими температурами.

Порівняння холодильника виконуємо за його типом. (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Типи холодильників за технічною характеристикою [2].

Основні технологічні характеристики	Із плаваючою головкою	З нерухомими трубами(що проектується)	Вертикальний
Продуктивність, кг/г	4880 (1)	4880 (1)	4880 (1)
Діаметри, мм	600 (1)	600 (1)	600 (1)
Площа поверхні теплообміну	119 (1)	121 (2)	115 (0)
Маса, кг	2100 (1)	1980 (2)	2300 (0)
Кількість балів	4	6	2

Висновок: вибраний нами холодильник в порівнянні з іншими має більшу площу поверхню теплообміну, тому має більшу продуктивність за короткий проміжок часу, також має меншу металоємність.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

3.3 Вибір матеріалів

Метанол є корозійно-активною речовиною, тому деталі та складальні одиниці, які мають контакт з метанолом виконуємо з корозійностійкої нержавіючої сталі 12Х18Н10Т ГОСТ 5632 – 72 (сталі високолеговані і сплави корозійностійкі, жаростійкі) з межею міцності під час розтягування $\sigma_b = 510$ МПа, мають межу плинності $\sigma_t = 250$ МПа [3], та нормативне допустиме напруження $\sigma^* = 140$ МПа [3].

Болти виготовляємо з вуглецевої сталі марки Ст5 ГОСТ 380-2005, які призначені для роботи з данною речовиною.

Шайби виконуємо зі сталі Ст3 ГОСТ 380-2005; межа міцності даної сталі при розтягу не менше 380 МПа [4].

В таблицях 3.4 і 3.5. наведено технічну характеристику, класифікацію, хімічний склад та механічні властивості .

Таблиця 3.4 – Характеристика сталі 12Х18Н10Т [3].

Марка:	12Х18Н10Т
Замінник:	08Х18Г8Н2Т, 10Х14Г14Н4Т, 12Х17Г9АН4, 08Х22Н6Т, 08Х17Т, 15Х25Т, 12Х18Н9Т
Класифікація:	Сталь корозійно-стійка звичайна
Застосування:	деталі, що працюють до 600 °С. Зварені апарати й посудини, що працюють у розведених розчинах азотних, оцтових, фосфорної кислот, розчинах лугів і солей і інші деталі, що працюють під тиском при температурі від — 196 до +600 °С, а при наявності агресивних середовищ до +350 °С.

Таблиця 3.5 – Хімічний склад в % сталі 12Х18Н10Т [3].

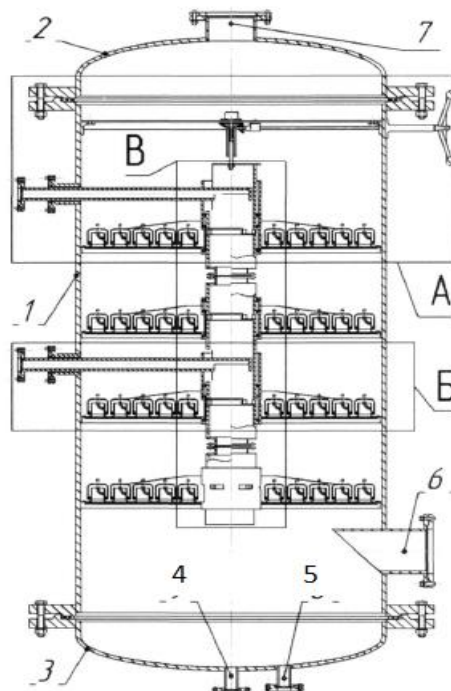
С	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	-
До 0.12	до 0.8	до 2	9-11	до 0.02	До 0.035	17-19	до 0.3	(5 С-0.8) Ti, інше Fe.

3.4 Патентне дослідження

Для аналізу було представлено патенти [5-14].

Предметом патентного пошуку є ректифікаційна колона.

Ректифікаційна колона [5] має корпус в якому розміщені на різних рівнях по висоті ковпачкові тарілки, які мають переливні та контактні пристрої. Переливні пристрої виконано у вигляді зовнішніх та внутрішніх труб, розташованих в центрі та розміщених концентрично по всій висоті колони, де внутрішня труба може рухатись поступально та може регулювати рівень рідини. Схему показано на рисунок 3.3.



1 – корпус; 2 – кришка; 3 – днище; 4,5 – штуцера для кубового залишку; 6 – штуцер для входу гріючої пари; 7 – штуцер для виходу гріючих пари;

Рисунок 3.3 – Ректифікаційна колона

Переваги:

- рівномірне розподілення по тарілці

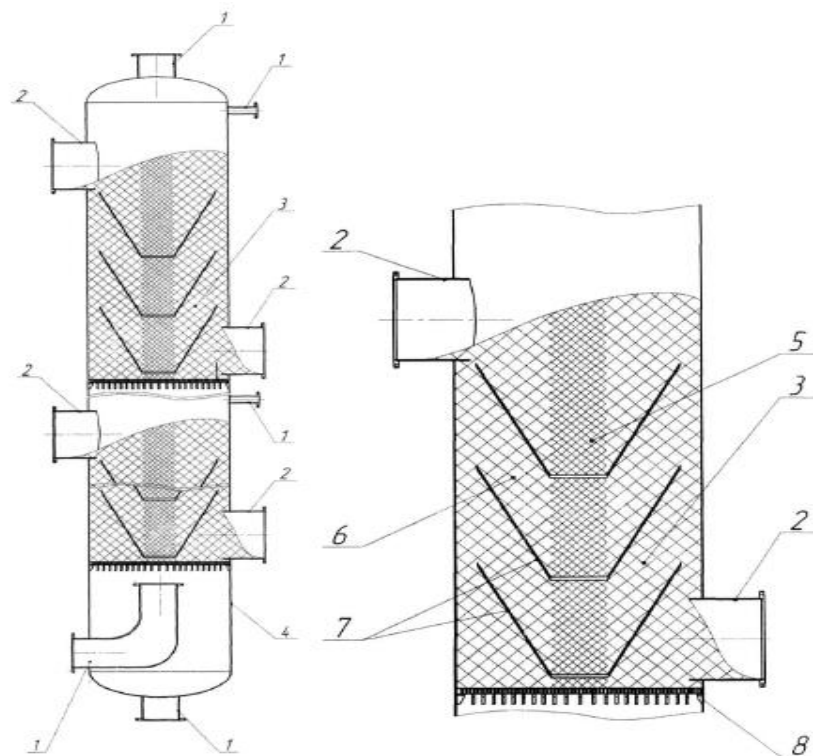
Недоліки:

- переливні пристрої займають багато простору
- необхідність налаштування переливних пристроїв до початку роботи.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Ректифікаційна колона [6] має корпус в якому розміщені на різних рівнях по висоті ковпачкові тарілки, які мають переливні та контактні пристрої.. Насадка колони має вигляд щонайменше двох радіальних пристроїв з вікнами, простір якого складається з насипної насадки (кільця Рашига), яка має різний діаметра. Насипна насадка, яка має менший розмір, розташована до середини колони, а більшого на периферії.

Схему колони показано на рисунку 3.4.



1 – штуцери для підводу та відводу кубового залишку та флегми; 2 – технологічний штуцер; 3 – насадка більшого розміру; 4 – корпус; 5 – насадка меншого розміру; 6 – насадка більшого розміру на периферії, 7 – вікна; 8-тарілка.

Рисунок 3.4 – Ректифікаційна колона

Переваги:

- висока ефективність рідкої та парової фази;
- високий ККД.

Недоліки:

- складність конструкції

- потрібні в очистці насадки.

Ректифікаційна колона [7] містить масообмінні тарілки, повздовжну вертикальну перегородку, що розділяє корпус колони на вертикальні секції. Під перегородкою встановлений регулятор потоків парової фази у вигляді заслонки, з можливістю горизонтального переміщення. Вздовж центральної осі колони встановлений вал, на якому жорстко закріплений регулятор потоків парової фази, розмір якої не менше розміру однієї секції. Колона має два розподілюючих пристрої для початкової суміші та флегми, кожне із яких виконано з можливістю послідовної подачі в секції. Розміщено в площині обичайки і складається з стакана та кришки, розміщених на відстані один від одного та жорстко закріплені на валу. Кожен із стаканів оснащений наскрізним отвором. Виконаний на його боковій поверхності, і закріплений на валу таким способом, щоб його скрізний отвір був направлений в сторону регулятора потоків парової фази. Стакани розподілюючих пристроїв для вхідної суміші і флегми відкриті зі сторони патрубків подачі вхідної суміші та флегми, а їх наскрізні отвори виконані з можливістю зв'язку з патрубками подачі флегми в секції.

Схему показано на рисунку 3.5.

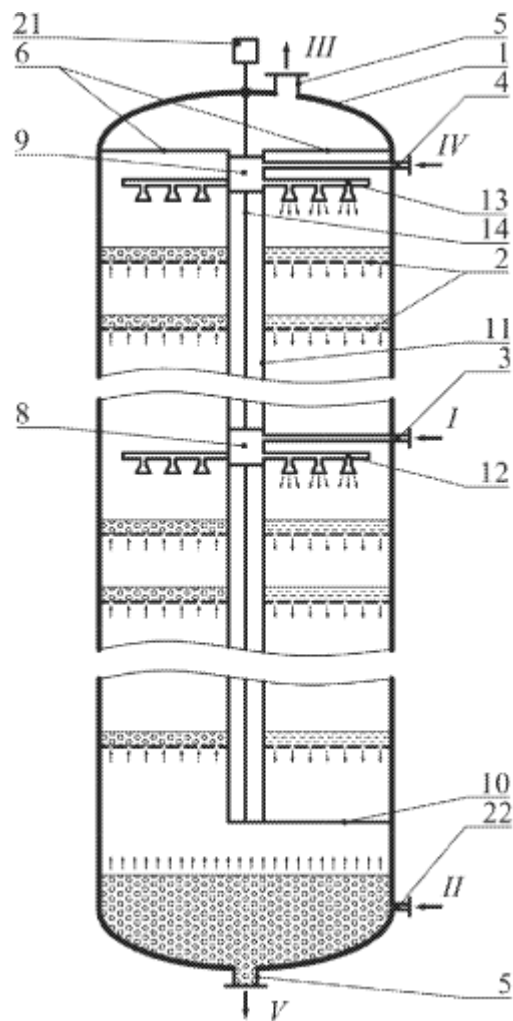
Переваги:

- рівномірне розподілення суміші по тарілках;
- велика площа контакту фаз.

Недоліки:

- складність конструкції
- великий гідравлічний опір.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24



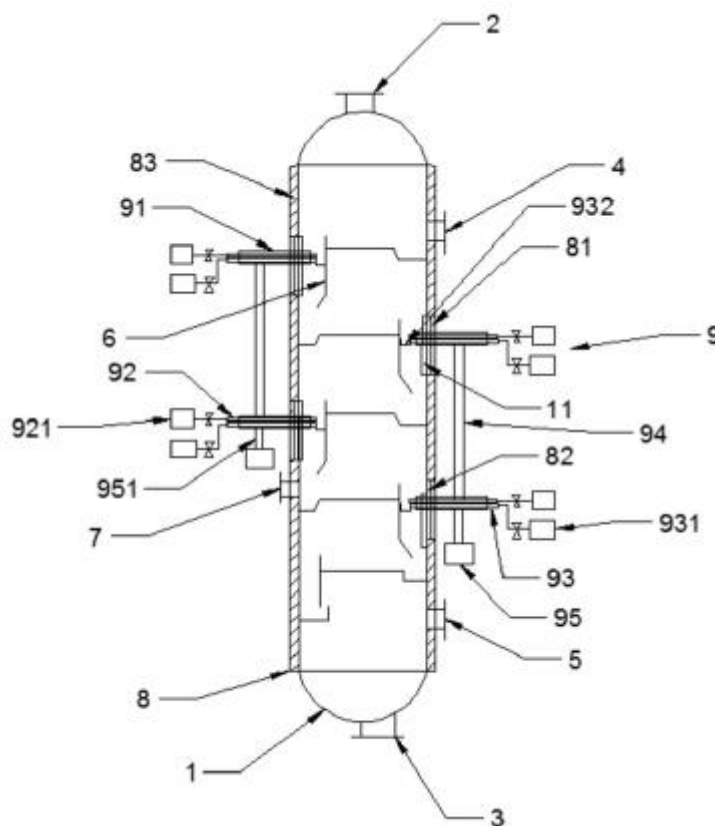
1 – корпус, 2 – тарілки, 3 – штуцер для подачі вхідної суміші, 4,13 – штуцер для подачі флегми, 5 –штуцер для виходу суміші, 6 – вертикальна перегородка, 7 – вертикальні секції, 8,9 – розподільчий пристрій для вхідної суміші та флегми, 10 – регулятор потоків парової фази, 11 – коаксильна обичайка, 12 – штуцер подачі вихідної суміші, 14 – вал, 15,18 – стакан, 16,19 – наскрізний отвір, 17,20 – кришка, 21 – привід валу, 22 – патрубок подачі пару.

Рисунок 3.5 – Ректифікаційна колона

Ректифікаційна колона [8] належить до галузі хімічної промисловості, а саме стосується ректифікаційної колони для розділення сумішей. Корпус колони має штуцера для входу та виходу пари. В середині корпусу знаходяться лотки. Стрічкоподібний наскрізний отвір, очищувальний пристрій, включає в себе

нерухомий рукав. Підключено пістолет для розпилення води під високим тиском, що стікає по лотках.

Схему колони показано на рисунку 3.6.



1 – корпус; 11 – смугоподібні наскрізні отвори; 2 – штуцер на вихід пари;
 3 – штуцер виходу рідини; 4 – штуцер подачі флегми; 5 – штуцер на вхід пари;
 6 – лоток; 7 – штуцер для входу суміші; 8 – нерухома стінка;
 81 – нерухома затискаюча порожнина; 82 – ущільнююча прокладка;
 83 – фіксований шар заповнення; 9 – миючі компоненти; 91 – кожух;
 92 – розпилювач; 93 – труба для збору рідини; 931 – машина негативного тиску; 932 – резервуар для збору рідини; 94 – зв'язок; 95 – циліндр повітря;
 951 – ведучий вал.

Рисунок 3.6 – Ректифікаційна колона

Переваги:

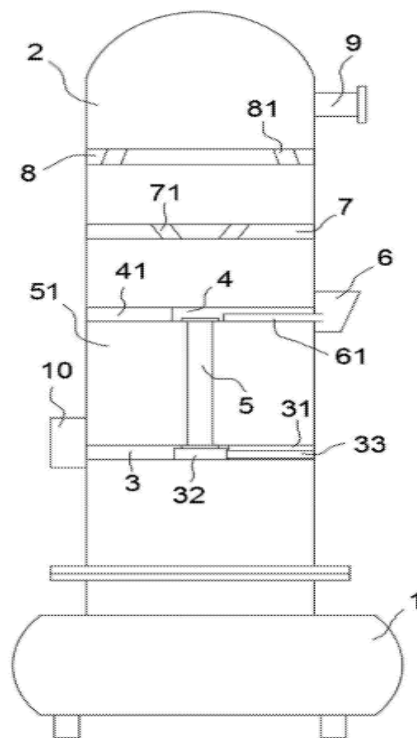
- хороший протизакупорювальний ефект
- простота в експлуатації.

Недоліки:

- складність конструкції.

Ректифікаційна колона [9] призначена для перегонки і отримання екологічно чистих антиоксидантів каучуку, належить до технічної галузі обладнання хімічної промисловості. Корисна модель містить нагрівач для ректифікації та ректифікаційну колону. Моторний агрегат розташований в центрі нижньої пластини. Права частина двигуна оснащена входом для пари.

Схему колони показано на рисунку 3.7.



1 – ректифікаційний нагрівач; 2 – корпус; 3 – тарілка; 31 – отвір для пари; 32 – моторний агрегат; 33 – оборотні двері; 4 – випускний отвір; 41 – вал; 45 – обертовий вал; 51 – перегородка; 6 – вхід флегми; 61 – випускна пластина; 7 – близька отвірна пластина; 71 – зовнішній косий отвір; 8 – далекий отвір; 81 – внутрішній косий отвір; 9 – розрядний отвір; 10 – акумулятор.

Рисунок 3.7 – Ректифікаційна колона

Переваги:

- знижує швидкість підйому пари;
- покращує ефект ректифікації;

- простота експлуатації.

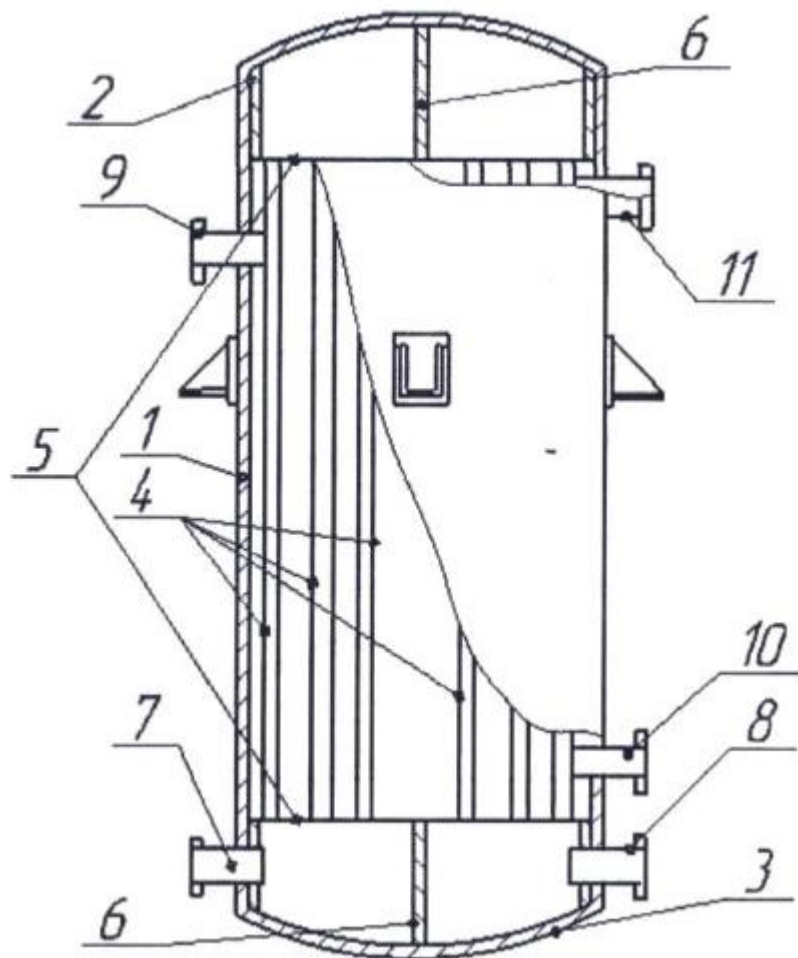
Недоліки:

- складність конструкції.

Предметом патентного пошуку є холодильник.

Кожухотрубний теплообмінник [10], що має циліндричний кожух, кришку і днище. Ряди секцій розділені перегородкою та трубою решіткою, в яких закріплені теплообмінні трубки, на яких розташовуються голки.

Схема апарата представлена на рисунку 3.8.



1 –циліндричний кожух; 2 – кришка; 3 – днище; 4 – теплообмінні трубки;
5 – трубна решітка; 6 –перегородка; 7 – штуцер надходження; 8 – штуцер

відводу; 9 – штуцер трубного простору; 10,11 – штуцери відводу неконденсованих газів; 12 – голки.

Рисунок 3.8 –Вертикальний теплообмінник.

Переваги:

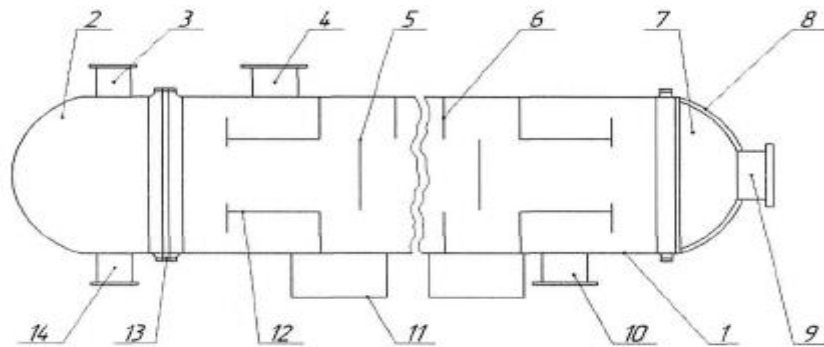
- збільшено коефіцієнт тепловіддачі;
- висока продуктивність.

Недоліки:

- складність конструкції;

Кожухотрубний теплообмінник [11] який має плаваючу головку та кожух до прикріплені фланці торцевих кришок, розташовані всередині кожуха трубні пучки, кільцева та дискова перегородка, також встановлені перегородки поряд з штуцерами, які складаються з циліндричних і дискових фрагментів.

Схема конструкції на рисунку 3.9.



1 – корпус; 2 – кришка; 3,4 – штуцер для входу; 5 – дискова перегородка; 6 – кільцева перегородка; 7 – плаваюча головка; 8 – кришка; 9 – технологічний штуцер; 10,14 – штуцер виведення рідини; 11 – опори; 12 – перегородки; трубна решітка .

Рисунок 3.9 – Кожухотрубний теплообмінни

Переваги:

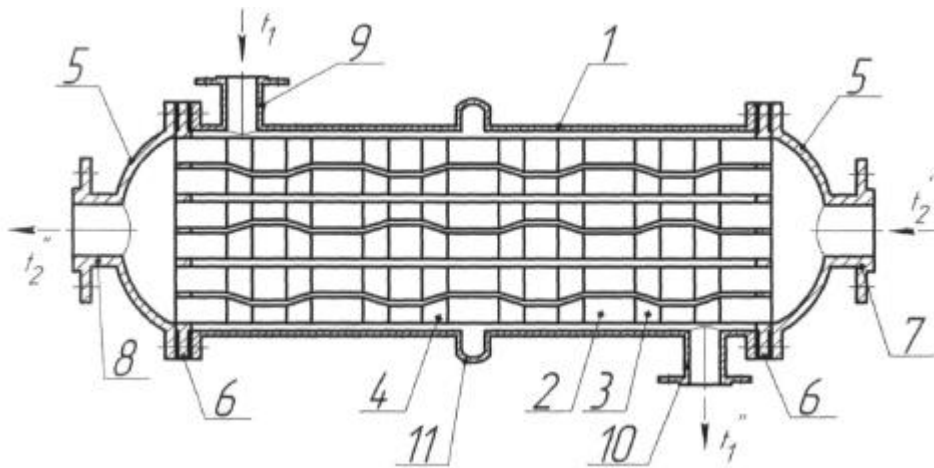
- великий ККД;
- зручність використання

Недоліки:

- зменшена міцність корпусу через розміщення штуцера в зоні крайових навантажень;
- матеріалоемність.

Кожухотрубний теплообмінник [12] належить до теплообмінної апаратур і використовується в промисловості та енергетиці, основа яких гладка трубчаста поверхня. Дана конструкція має додатковий турбулізуючий потік і підвищує інтенсивність теплообміну.

Схема конструкції на рисунку 3.10.



1 – кожух; 2 – пучок труб; 3 – конфузурна ділянка; 4 – дифузурна ділянка; 5 – колектори; 6 – трубні дошки; 7 – штуцер входу теплоносія в трубний простір; 8 – штуцер виходу теплоносія з трубного простору; 9 – штуцер входу теплоносія в міжтрубний простір; 10 – штуцер виведення теплоносія з міжтрубного простору; 11 – лінзовий компенсатор.

Рисунок 3.10 – Кожухотрубний теплообмінник

Переваги:

- додаткова турбулізація потоку;
- підвищена інтенсивність теплообміну.

Недоліки:

- складність конструкції;

- матеріалоемність.

Спиральний теплообмінник [13] що містить корпус до внутрішньої стінки якої приєднані дві трубні решітки, між якими нерухомо з'єднані пучки труб. Така конструкція є зручною для очищення різьбового пучка.

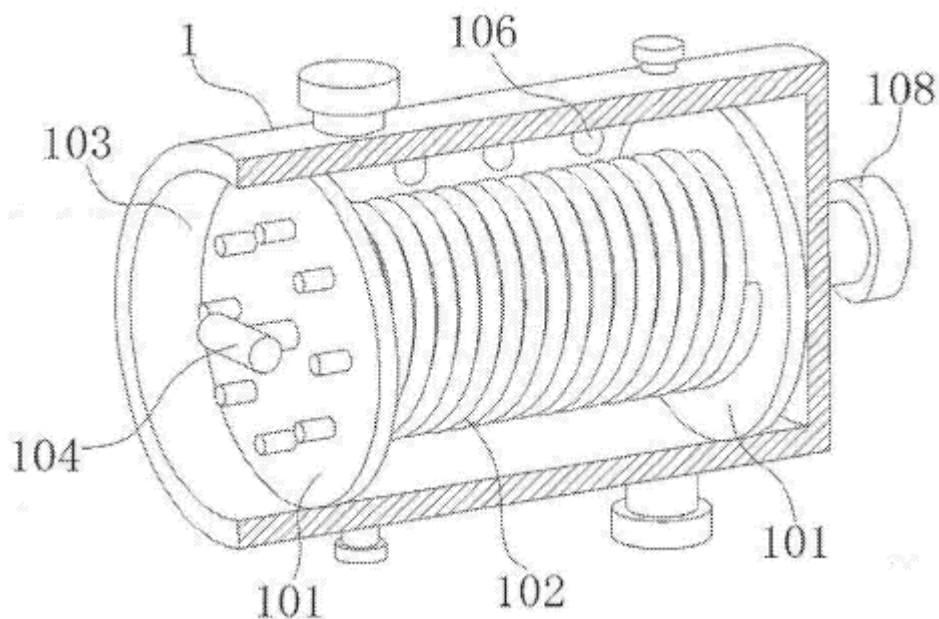
Переваги:

- зручність в обслуговуванні;
- підвищена ефективність.

Недоліки:

- складність виконання;
- велика кількість дрібних деталей.

Схема конструкції на рисунку 3.11.



1 – корпус; 101 – трубна решітка; 102 – пучок труб з різьбою; 103 – внутрішня стінка корпусу; 104 – поворотна ручка; 106 – щітка; 108 – трубка для відводу води .

Рисунок 3.11 – Спиральний теплообмінник

Кожухотрубний теплообмінник [14] що містить корпус до якого приєднано з обох боків дві трубних решітки, що мають безліч трубних пучків. Також має

відхилюваний пристрій, який складається із плагину для вставки та крипильної частини.

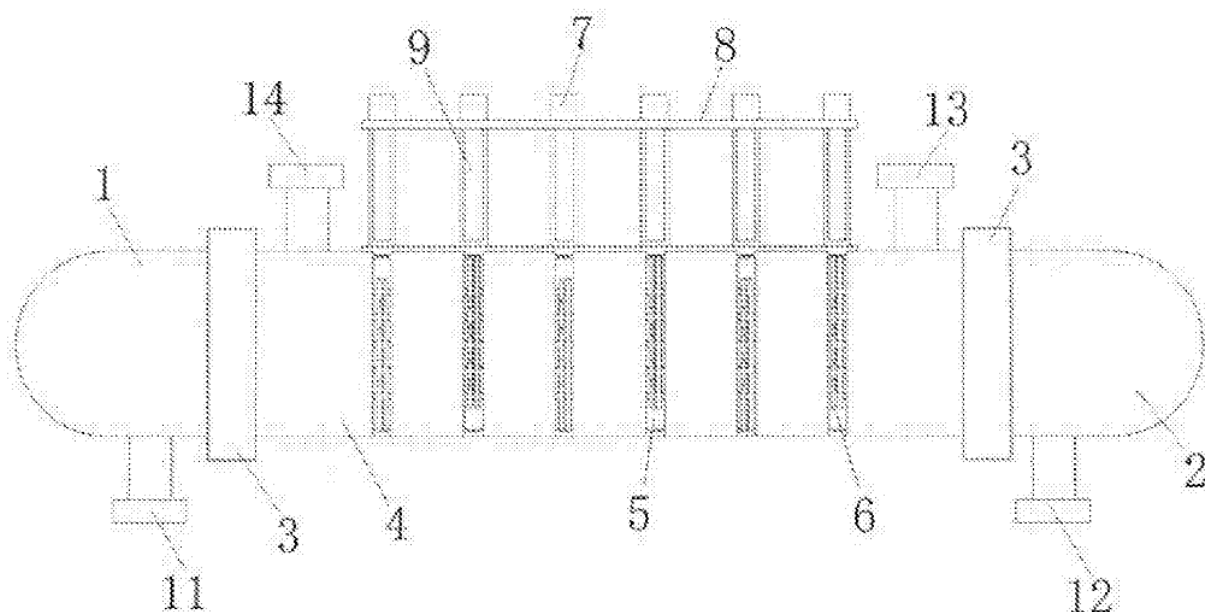
Переваги:

- швидкий демонтаж;
- висока продуктивність.

Недоліки:

- зношення стрижнів.

Схема конструкції на рисунку 3.12.



1,2 – кришка; 3 – трубна решітка; 4 – корпус; 5 – проріз для виймання; 6 – перегородка; 7 – вигнута кришка; 8 – фіксуючий стрижень; 9 – смуга для ущільнення; 10 – поворотний вал; 11 – туцер для виходу води; 12 – штуцер для виходу теплоносія; 13 – штуцер для входу води; 14 – для входу теплоносія .

Рисунок 3.12 – Кожухотрубний теплообмінник

Патентний формуляр і патенти наведені в додатку Д.

Висновок: за результатами даного патентного дослідження було встановлено, що у проектованій насадковій ректифікаційній колоні та кожухотрубному теплообміннику не було використано конструкції, які раніше були захищені патентами, зважаючи на це, рахуємо наші апарати патентно чистими.

4 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції

4.1 Наукова новизна

Для розширення технологічних можливостей тарілки та масообмінного апарата в цілому авторами була запропоновано нова конструкція ковпачкової тарілки, яка забезпечує саморегулювання прохідного перерізу по легкій фазі та істотно знижує рівень бризковинесення.

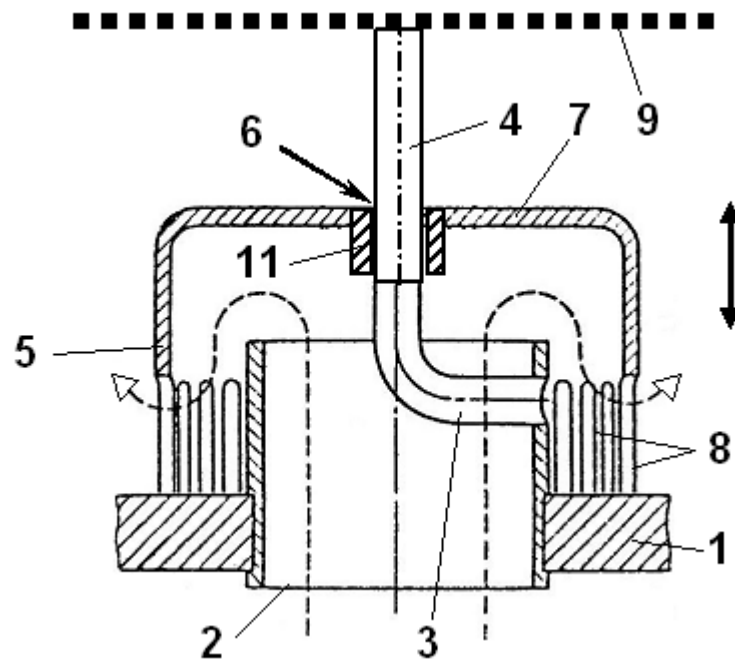
Для цього в контактній тарілці масообмінного апарата, що містить горизонтальне полотно 1 з патрубками 2 для прохода легкої фази, а також закріплений на кожному з них зігнутий стрижень 3 з розташованим на його вертикальній ділянці 4 рухомим у вертикальному напрямку ковпачком 5 з центральним отвором 6 у кришці 7 та прорізами та/або щілинами 8 в нижній частині пропонується на торцях вертикальних ділянок 4 зігнутих стрижнів 3 встановити перфороване горизонтальне полотно 9 (див. рис.).

Під час роботи апарата легка фаза з-під горизонтального полотна потрапляє в патрубки, проходить проміжки між ними й ковпачками і далі крізь вертикальні прорізи та/або щілини в їхніх нижніх частинах диспергується в потік важкої фази, що рухається по полотну тарілки. У разі збільшення навантаження по легкій фазі ковпачки під дією тиску з боку легкої фази поступово піднімаються по вертикальних ділянках зігнутих стрижнів, збільшуючи прохідний переріз між горизонтальним полотном та ковпачками. У разі зниження зазначеного навантаження ковпачки поступово опускаються. У такий спосіб здійснюється саморегулювання пропускної здатності тарілки по легкій фазі.

Встановлення на торцях вертикальних ділянок зігнутих стрижнів перфорованого горизонтального полотна забезпечує ефективне бризкоуловлювання, що істотно підвищує ефективність тарілки та масообмінного апарата в цілому.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Пропонована контактна тарілка масообмінного апарата істотно розширює технологічні можливості контактної тарілки та масообмінного апарата в цілому.



- 1 – горизонтальне полотно, 2 – патрубок, 3 – зігнутий стрижень,
4 – вертикальна ділянка стрижня, 5 – ковпачок, 6 – центральний отвір,
7 – кришка, 8 – проріз та/або щілина, 9 – перфороване горизонтальне полотно

Рисунок 4.1 – Поздовжній розріз контактної тарілки масообмінного апарата

На рисунку 4.2 зображено моделювання ковпачку в ректифікаційній колоні до модернізації. В даному аналозі швидкість парової фази після проходження через ковпачок становить 0.005м/с

Для остаточного моделювання, в запропонованій модернізації було встановлено на торцях вертикальні ділянки зігнутих стрижнів, разі збільшення навантаження по легкій фазі ковпачки під дією тиску з боку легкої фази поступово піднімаються до перфорованого горизонтального полотна. Це забезпечує ефективне бризкоуловлювання, що істотно підвищує ефективність тарілки та масообмінного апарата в цілому. Після моделювання модернізованого ковпачка (рисунок 4.3) швидкість парової фази після проходження через ковпачок становить 0.964м/с.

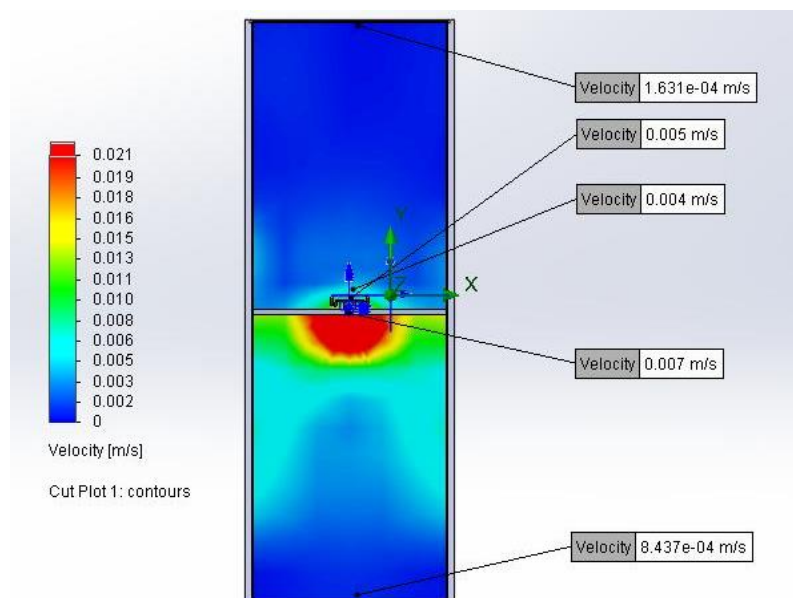


Рисунок 4.2 - Моделювання ковпачку в ректифікаційній колоні до модернізації

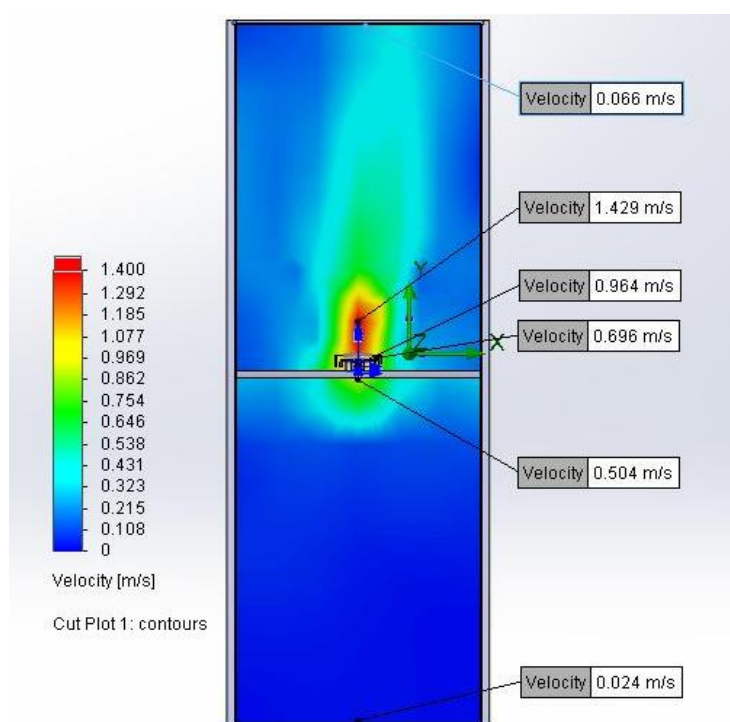


Рисунок 4.2 - Моделювання ковпачку в ректифікаційній колоні до модернізації

Висновок: запропонована фізична модель показує, що дана модернізація є доцільною, та забезпечує ефективне бризкоуловлювання, що істотно підвищує ефективність тарілки та масообмінного апарата в цілому.

4.2 Визначення основних геометричних розмірів ректифікаційної колони

4.2.1 Параметричний розрахунок

Метою розрахунку є визначення основних геометричних розмірів ректифікаційної колони.

Розрахункову схему зображено на рисунку 4.4.

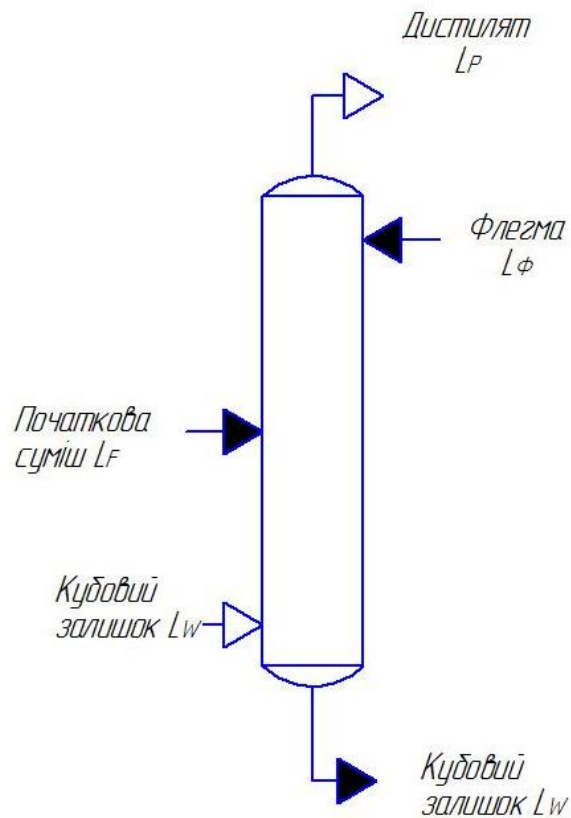


Рисунок 4.4 – Схема для розрахунку робочої висоти колони

Вихідні дані:

продуктивність колони G , кг/с 8;

вміст легкого компонента:

у дистилляті x_D , % 95;

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

в кубовому залишку $x_w, \%$

2;

в вихідній суміші $x_F, \%$

39;

Розрахунок виконано за методикою вкладеною в [15].

Матеріальний баланс:

$$G_D + G_W = 8$$

$$G_D \cdot 0,95 + G_W \cdot 0,02$$

Звідси $G_D = 4,120$ кг/с, $G_W = 3,880$ кг/с.

Для подальших розрахунків необхідно концентрації вихідної суміші, дистилята, кубового залишку виразити через мольні частки.

Молярна маса речовин:

$M_{HK} = 32$ г/моль – для метанолу;

$M_{BK} = 18$ г/моль – для води.

Вихідна суміш:

$$x_F = \frac{\frac{\overline{x_F}}{M_{HK}}}{\frac{100 - \overline{x_F}}{M_{HK}} + \frac{\overline{x_F}}{M_{BK}}} = \frac{\frac{40}{32}}{\frac{100 - 40}{32} + \frac{40}{18}} = 0,265$$

Дистилят:

$$x_P = \frac{\frac{\overline{x_P}}{M_{HK}}}{\frac{100 - \overline{x_P}}{M_{HK}} + \frac{\overline{x_P}}{M_{BK}}} = \frac{\frac{95}{32}}{\frac{100 - 95}{32} + \frac{95}{18}} = 0,914$$

Кубовий залишок:

$$x_W = \frac{\frac{\overline{x_W}}{M_{HK}}}{\frac{100 - \overline{x_W}}{M_{HK}} + \frac{\overline{x_W}}{M_{BK}}} = \frac{\frac{2}{32}}{\frac{100 - 2}{32} + \frac{2}{18}} = 0,011$$

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Відносні молярні витрати вихідної суміші:

$$f = \frac{x_p - x_w}{x_F - x_w} = \frac{0,914 - 0,011}{0,265 - 0,011} = 3,567$$

Мінімальне число флегми:

$$R_{\min} = \frac{x_p - y_F^*}{y_F^* - x_F} = \frac{0,914 - 0,75}{0,75 - 0,265} = 0,339$$

Робоче число флегми:

$$R = 1,3 \cdot R_{\min} + 0,3 = 1,3 \cdot 0,339 + 0,3 = 0,74$$

Рівняння робочих ліній

а) верхньої частини колони

$$y' = \frac{R}{R+1} \cdot x' + \frac{x_p}{R+1} = \left(\frac{0,74}{0,74+1} \right) \cdot x' + \frac{0,914}{0,74+1} = 0,428 \cdot x' + 0,523$$

б) нижньої частини колони

$$y' = \frac{R+f}{R+1} \cdot x' - \frac{f-1}{R+1} \cdot x_w = \left(\frac{0,74+3,567}{0,74+1} \right) \cdot x' - \left(\frac{3,567-1}{0,74+1} \right) \cdot 0,011 = 2,467 \cdot x' - 0,017$$

Визначення швидкості пари та діаметра колони.

Середній склад рідини:

а) в верхній частині колони:

$$x'_m = \frac{x_F + x_p}{2} = \frac{0,265 + 0,914}{2} = 0,589$$

б) в нижній частині колони:

$$x''_m = \frac{x_F + x_w}{2} = \frac{0,256 + 0,011}{2} = 0,138$$

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Середній склад пари:

а) в верхній частині колони:

$$y'_m = 0,428 \cdot x'_m + 0,523 = 0,775$$

б) в нижній частині колони:

$$y''_m = 2,467 \cdot x''_m - 0,017 = 0,323$$

Визначаємо середні температури пара з діаграми:

$$а) y'_{cp} = 0,775 \Rightarrow t'_{cp} = 67^\circ C$$

$$б) y''_{cp} = 0,323 \Rightarrow t''_{cp} = 75^\circ C$$

Середні молярні маси і густини пари:

$$а) M'_{Gm} = y'_m \cdot M_{HK} + (1 - y'_m) \cdot M_{BK} = 0,775 \cdot 18 + (1 - 0,775) \cdot 32 = 21,146 \text{ кг/кмоль}$$

$$\rho'_{Gm} = \frac{M'_{Gm} \cdot T_0}{22,4 \cdot T'_{Gm}} = \frac{21,146 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 67)} = 0,758 \text{ кг/м}^3$$

$$б) M''_{Gm} = y''_m \cdot M_{HK} + (1 - y''_m) \cdot M_{BK} = 0,323 \cdot 18 + (1 - 0,323) \cdot 32 = 27,474 \text{ кг/кмоль}$$

$$\rho''_{Gm} = \frac{M''_{Gm} \cdot T_0}{22,4 \cdot T''_{Gm}} = \frac{27,474 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 75)} = 0,962 \text{ кг/м}^3$$

Середня густина пари в колоні:

$$\bar{\rho} = \frac{\rho'_{cp} + \rho''_{cp}}{2} = \frac{0,758 + 0,962}{2} = 0,86 \text{ кг/м}^3$$

За даними каталога приймаємо відстань між тарілками $h=300$ мм.

Швидкість пари в колоні

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

$$w_o' = 0,032 \cdot \sqrt{\frac{\rho_{Lm}}{\rho_{Gm}}} = 0,032 \cdot \sqrt{\frac{792 - 0,86}{1,257}} = 0,971$$

Об'ємні витрати при середній температурі в колоні

$$t_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{64 + 91}{2} = 77,5^\circ\text{C}$$

$$V = \frac{G_D (R+1) 22,4 T_{cp} \rho_0}{M_D T_0 \rho} = \frac{4,12 \cdot (0,74 + 1) \cdot 22,4 \cdot (273 + 77,5) \cdot 0,845}{19,198 \cdot 273 \cdot 3 \cdot 1} = 3,025 \text{ м}^3/\text{с}$$

де $M_D = 0,914 \cdot 18 + (1 - 0,914) \cdot 32 = 19,198 \text{ кг/кмоль}$.

Діаметр колони:

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w_o'}} = \sqrt{\frac{3,025}{(0,785 \cdot 0,971)}} = 1,993$$

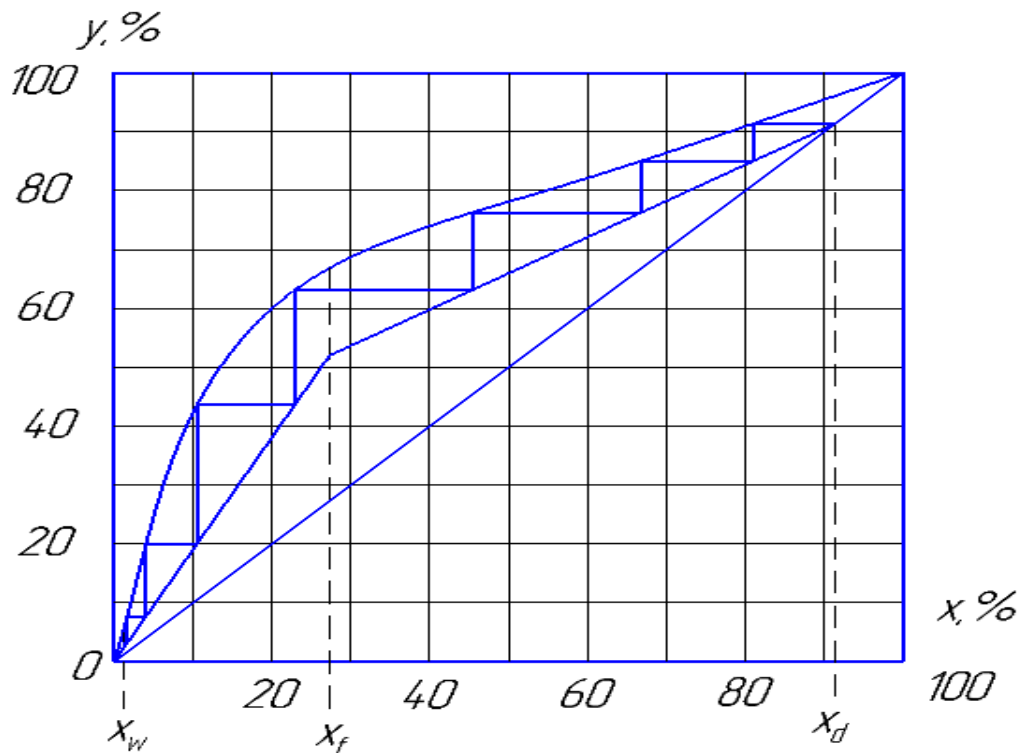
Приймаємо діаметр 2 000 мм

Тоді швидкість пари в колоні:

$$\omega = \frac{V}{0,785 D^2} = \frac{3,025}{0,785 \cdot 2^2} = 0,963 \text{ м/с}$$

Визначення кількості тарілок і висоти колони:

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40



Графік для визначені числа ступенів концентрації

З графіка знаходимо число ступенів змінення концентрації. В колоні $n=3$.

Число необхідних дійсних тарілок розраховується за формулою

В верхній частині колони:

$$n' = \frac{n_t}{\eta_c} = \frac{3}{0,41} = 7,317, \quad n' = 8$$

В нижній частині колони:

$$n'' = \frac{n_t}{n_{c1}} = \frac{3}{0,31} = 9,677, \quad n'' = 10$$

де η_c -ккд, який знаходимо з графіка, знаючи коефіцієнт відносної летючості компонентів α .

$$\alpha = \frac{P_e}{P_m} = \frac{1929}{2331} = 0,828,$$

де P_g і P_m - тиск насиченої пари води і метанолу відповідно[3].

$$\alpha\mu = 0,828 \cdot 0,334 = 0,276$$

Довжина шляху пройдена рідиною на тарілці:

$$l = D - 2b = 2 - 2 \cdot 0,289 = 1,422 \text{ м}$$

Поправка на довжину шляху $\Delta = 0,22$

Визначаємо середній ККД тарілок:

$$\eta_c = \eta(1 + \Delta) \cdot k_m = 0,72(1 + 0,022) \cdot 1,05 = 0,922$$

де k_m - коефіцієнт модернізації.

Отже, загальна кількість тарілок $n = n' + n'' = 18$.

Висота тарільчастої частини колони:

$$H_T = (n - 1)h = (18 - 1) \cdot 0,3 = 5,1 \text{ м.}$$

Загальна висота колони:

$$H_\kappa = H_T + H_S + H_W = 5,1 + 2 + 2 = 9,1 \text{ м,}$$

де H_S - висота сепараційної частини, а H_W - висота кубової частини.

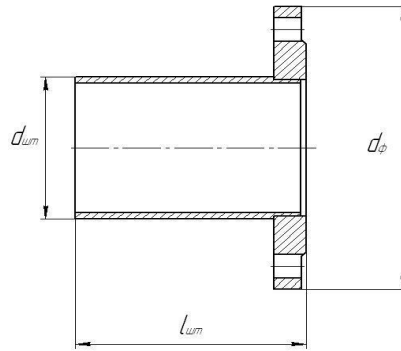
Приймаємо висоту колони 10 м.

Висновок: під час розрахунків було визначено діаметр колони, висоту колони та швидкість пари.

4.2.2 Розрахунок технологічних штуцерів апарата

Метою розрахунку є визначення діаметрів штуцерів ректифікаційної колони, для введення та виведення рідкої та газоподібної фази.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42



Розрахункова схема штуцера зображена на рисунку 4.5.

Вихідні дані до розрахунку:

масова витрата початкової суміші G_c , кг/с	8;
масова витрата кінцевого продукту G_K , кг/с	3,880;
масова витрата пари $G_{пари}$, кг/с	4,120;
густина пари $\rho_{пари}$, кг/м ³	1,257;
густина кінцевого продукту, ρ_K , кг/м ³	981;
густина кубового залишку, $\rho_{куб}$, кг/м ³	886,5;
видаток рідини у верхній частині колони L_1 , кг/с	3,256;
видаток рідини у нижній частині колони L_2 , кг/с	0,804

Розрахунок здійснюється за методикою [16].

Визначення діаметра штуцера.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot w}}$$

Визначення діаметра штуцера для входу вихідної суміші. Отримали розрахунковий діаметр:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho_{куб} \cdot w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8}{3,14 \cdot 886,5 \cdot 1}} = 0,071 \text{ м.}$$

Приймаємо розрахунковий діаметр штуцера за [13]: $d_1 = 80$ мм.

Визначення діаметра штуцера для виходу парів дистилату. Отримали розрахунковий діаметр. Приймаємо $w=20$ м/с:

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_d}{\pi \cdot \rho_n \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,12}{3,14 \cdot 1,257 \cdot 20}} = 0,458 \text{ м.}$$

Приймаємо розрахунковий діаметр штуцера за [13]: $d_2 = 500 \text{ мм.}$

Визначення діаметра штуцера для подачі зрошення. Отримали розрахунковий діаметр. Приймаємо $w=2 \text{ м/с:}$

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot L_1}{\pi \cdot \rho_{\kappa\delta} \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,256}{3,14 \cdot 886,5 \cdot 2}} = 0,048 \text{ м.}$$

Приймаємо розрахунковий діам= 0,048 м. етр штуцера за [13]: $d_3 = 50 \text{ мм.}$

Визначення діаметра штуцера для виходу кубової рідини. Отримали розрахунковий діаметр. Приймаємо $w=0,5 \text{ м/с:}$

$$d_4 = \sqrt{\frac{4 \cdot L_2}{\pi \cdot \rho \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,88}{3,14 \cdot 710 \cdot 0,5}} = 0,118 \text{ м.}$$

Приймаємо розрахунковий діаметр штуцера за [13]: $d_4 = 150 \text{ мм.}$

Визначення діаметра штуцера для повернення парів кубової рідини. Отримали розрахунковий діаметр. Приймаємо $w=20 \text{ м/с:}$

$$d_5 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_w}{\pi \cdot \rho_n \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,804}{3,14 \cdot 1,257 \cdot 20}} = 0,202 \text{ м.}$$

Приймаємо розрахунковий діаметр штуцера за [13]: $d_5 = 250 \text{ мм.}$

Висновок: за розрахунками було підібрано діаметри штуцерів, які забезпечать необхідні швидкості руху теплоносіїв.

4.2.3 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки під дією внутрішнього надлишкового тиску

Метою розрахунку є визначення товщини стінки циліндричної обичайки. Розрахункова схема обичайки наведена на рисунку 4.6.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

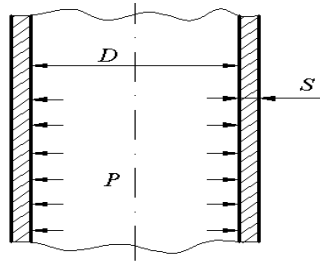


Рисунок 4.6 - Розрахункова схема циліндричної обичайки

Вихідні дані:

Діаметр апарата, м, D	2;
Матеріал	08X18H10T;
Висота апарату, м, H	5,1;
Розрахунковий тиск в апараті, МПа, P	1,1;
Густина, ρ	981;
Допустиме напруження, МПа, $[\sigma]$	140;
розрахункова температура t_R , К	353;
Коефіцієнт міцності зварного шва, ϕ	0,9;
Проникненість, м/рік, П	0,0005;
Термін служби апарату, років, T	10;
Сила земного тяжіння, g, м/с ²	9,81.

Розрахунок ведеться за авторами [16,17].

Визначаємо розрахунковий тиск:

$$p_R = P + \rho \cdot g \cdot H = 1,1 + 981 \cdot 9,81 \cdot 5, = 1,149 \text{ МПа}$$

Визначаємо розрахункову товщину стінки циліндричної обичайки за безмоментною теорією:

$$S_R = \frac{p_R \cdot D}{2[\sigma]\phi - p_R} = \frac{1,149 \cdot 2}{2 \cdot 140 \cdot 0,9 - 1,149} = 0,0088 \text{ , мм}$$

Додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії і ерозії
 $c_1 = 0,5$; $c_1 = P \cdot T = 0,05 \cdot 10 = 0,5$

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску
 $c_2 = 1,23$;

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Граничне відхилення по товщині прокату листового прокату залежно від товщини приймається за [18, с.266-267].

Додаток до розрахункової товщини стінки:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0,5 + 1,23 + 0 = 1,73,$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки:

$$S \geq S_R \cdot 10^3 + C = 0,0088 + 1,73 = 10,5, \text{ мм}$$

З конструктивних міркувань приймаємо $S = 0,012 \text{ м}$.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (S - C)}{D + S - C} = \frac{2 \cdot 140 \cdot 0,9 \cdot (0,012 - 0,0017)}{2 + (0,012 - 0,0017)} = 1,287, \text{ МПа}$$

Перевіряємо умову міцності:

$$p_R \leq [p] = 1,149 \leq 1,287 \text{ [МПа]}$$

Висновок: для колони визначена товщина стінки циліндричної обичайки приймається $S = 0,012 \text{ м}$ забезпечує міцність апарата в умовах робочих навантажень.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

4.2.4 Розрахунок еліптичного днища

Метою розрахунку є визначення товщини днища та перевірити, чи виконується умова міцності. Розрахункова схема днища наведена на рисунку 4.7.

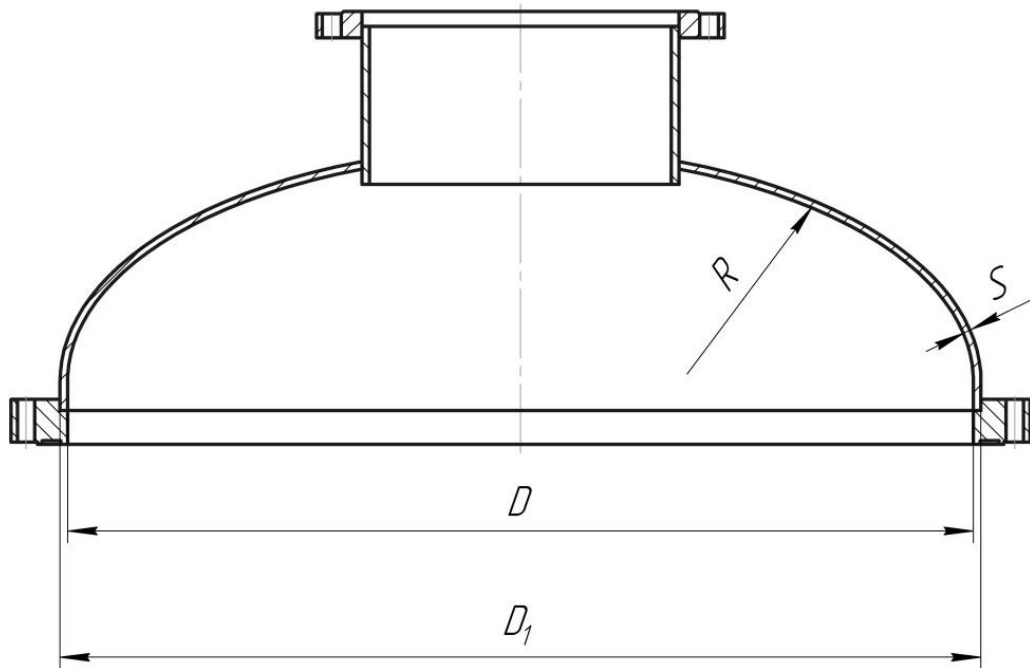


Рисунок 4.7 – Розрахункова схема еліптичного днища

Вихідні дані:

розрахунковий тиск p , МПа 0,1;

діаметр апарата D , м 2;

допустиме напруження матеріалу $[\sigma]$, МПа 140;

розрахункова температура t_R , К 353

матеріал: 12X18H10T

Розрахунок ведемо по методиці, приведений в [16,17].

Розрахунок на допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$s_R = \frac{p_R \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot f - 0,5 \cdot p} = \frac{0,1 \cdot 2}{2 \cdot 140 \cdot 0,9 - 0,5 \cdot 1,149} = 0,00875 \text{ м}$$

де $f = 0,9$ – коефіцієнт міцності зварного шва.

Додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії і ерозії
 $c_1=0,5$; $c_1 = \Pi \cdot T = 0,05 \cdot 10 = 0,5$

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску
 $c_2=1,2$;

Граничне відхилення по товщині прокату листового прокату залежно від товщини приймається за [18, с.266-267].

Технологічний додаток до розрахункової товщини $c_3=0$

Із врахуванням поправок маємо:

$$s = s_R + c_1 + c_2 + c_3 = 0,00875 + 0,5 + 1,2 + 0 = 10,45 \text{ мм}$$

Товщину днища приймаємо $s=12$ мм.

Обчислюємо висоту еліптичної частини днища та радіус:

$$H = 0,25 \cdot D = 0,25 \cdot 2 = 0,5, \text{ м}$$

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot H} = \frac{2^2}{4 \cdot 0,5} = 2, \text{ м}$$

В зв'язку з тим, що ми обрали еліптичне днище, його обов'язково необхідно виконувати з відбортовкою. Параметри днища вибираємо згідно стандартів.

Виконуємо перевірку на допустимий тиск:

$$[p] = \frac{2 \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot f}{R + 0,5 \cdot (s - c)} = \frac{2 \cdot \left(\frac{12}{10^3} - \frac{1,7}{10^3} \right) \cdot 140 \cdot 0,9}{2 + 0,5 \cdot \left(\frac{12}{10^3} - \frac{1,7}{10^3} \right)} = 1,295, \text{ МПа}$$

де s – виконавча товщина еліптичного днища; R - радіус кривизни в вершині днища.

$$p \leq p \longrightarrow 1,1 \text{ МПа} \leq 1,295 \text{ МПа.}$$

Умова міцності виконується.

Приймаємо товщину стінки $s=12$ мм.

Висновок: під час розрахунку знайшли товщину стінки, що дорівнює 16 мм; перевірили виконання умови міцності.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

4.2.5 Вибір опори апарата

Метою даного розрахунку є вибір опори апарата, який здійснюємо за двома параметрами: діаметром і вагою апарата

Розрахункова схема зображена на рисунку 5.8.

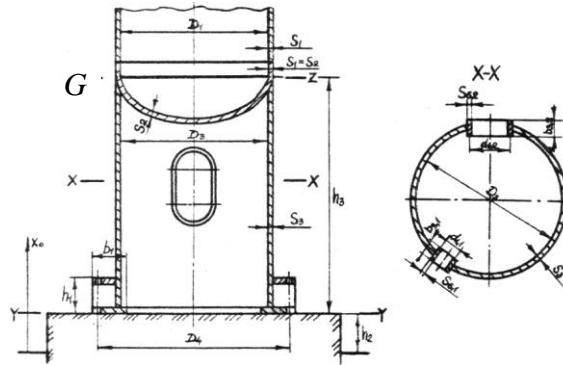


Рисунок 4.8 – Інструкція циліндричної опори для ректифікаційної колони

Вихідні дані:

діаметр апарата D_1 , м	2;
товщина циліндричної обичайки S_1 , м,	0,012;
висота колони h_k , м	10;
маса фланців і арматури $M_{фл}$, кг	354;
густина матеріалу корпусу ρ , кг/м ³	7850;
об'єм днища $V_{дн}$, м ³	0,038;
густина води при $T = 293$ К ρ_v , кг/м ³	981.

Розрахунок ведемо по методиці, приведений в [19].

Маса корпусу колони:

$$M_k = h_k \cdot \pi \cdot D \cdot S_1 \cdot \rho = 10 \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot 0,012 \cdot 7850 = 5919, \text{ кг}$$

Маса днища апарата:

$$M_{дн} = V_{дн} \cdot \rho_v = 0,038 \cdot 7850 = 298, \text{ кг}$$

Маса кришки апарата:

$$M_{кр} = M_{дн} = 298, \text{ кг}$$

Маса води в колоні:

$$M_{\text{в}} = \left[\pi \cdot \left(\frac{D}{2} \right)^2 \cdot H \cdot \rho_{\text{в}} \right] \cdot 0,6 = \left[3,14 \cdot \left(\frac{2}{2} \right)^2 \cdot 10 \cdot 1000 \right] \cdot 0,6 = 18849,55 \text{ ,кг}$$

Маса апарата:

$$M = M_{\text{к}} + M_{\text{фл}} + 2 \cdot M_{\text{кр}} + M_{\text{в}} = 5919 + 289 + 2 \cdot 289 + 18849,55 = 25719 \text{ ,кг}$$

Навантаження апарата на опори під час гідравлічних випробувань:

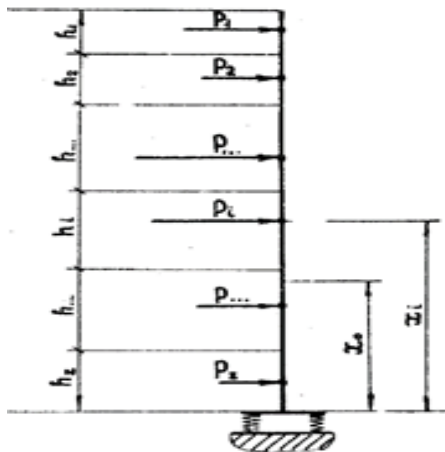
$$Q_{\text{ап}}^u = M_{\text{ап}} \cdot g = 25719 \cdot 9,81 = 252303 \text{ , Н}$$

Висновок: виходячи з того, що $Q_{\text{мах}} \geq Q_{\text{ап}}^u = 0,63 \geq 0,252 \text{ МН}$, вибираємо циліндричну опору типу з згідно ОСТ 26- 467-78 по $Q_{\text{мах}}$.

4.2.6 Розрахунок ректифікаційної колони під дією вітрових навантажень

Метою розрахунку є визначення вітрового навантаження на ректифікаційну колону в робочих умовах та перевірка умов міцності і стійкості апарату з урахуванням вітрового навантаження.

Розрахункова схема представлена на рисунку 4.9.



q – епюр швидкісного напору вітру; p_z – рівнодійна вітрового навантаження; x_0 – відстань до розрахункового перерізу

Рисунок 4.9 – Схема дії вітрового навантаження

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Вихідні дані до розрахунку:

діаметр колони, м, D	2;
висота колони, м, H	10;
товщина стінки корпусу, м, s	0,012;
додаток до розрахункової товщини, м, c	0,0013;
вага апарату, кг, m	25719;
матеріал корпусу	сталь X18H10T.

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [20,21,22].

Апарат розглядаємо у вигляді консольного вертикального стрижня з пружним защемленням (рисунок 4.8). Вітрове навантаження змінюється по висоті апарату. Стрижень умовно ділимо на i частин з висотою h_i , м кожна. Вага кожної з них G_i , кН. Вважаємо, що центр ваги розташований посередині ділянки. Відстань до центра ваги x_i , м.

Момент інерції перерізу фундаменту:

$$I_F = 1,3 \cdot \frac{\pi}{64} \cdot D_K^4 = 1,3 \cdot \frac{\pi}{64} \cdot 2,3^4 = 1,786 \text{ м}^4,$$

де D_K – діаметр фундаментного кільця опори, який визначається:

$$D_K = 1,1125 \cdot D = 1,1125 \cdot 2 = 2,3 \text{ м.}$$

Момент інерції основного верхнього металічного перерізу колони:

$$I_1 = \frac{\pi}{64} \cdot [(D + 2 \cdot s)^4 - D^4] = \frac{\pi}{64} \cdot [(2 + 2 \cdot 0,012)^4 - 2^4] = 0,038 \text{ м}^4.$$

Колона має постійний переріз, тоді моменти перерізу ділянок $I_i = I_1$.

Період основного тону коливань стрижня постійного перерізу з жорстким защемленням:

$$T_0 = 1,8 \cdot H \cdot \sqrt{\frac{m \cdot H}{g \cdot E \cdot I_1}} = 1,8 \cdot 10 \cdot \sqrt{\frac{25719 \cdot 10}{9,81 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 0,038}} = 0,104 \text{ с,}$$

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

де E - модуль пружності першого роду, $E = 2 \cdot 10^{11}$ МПа [21].

Період основного тону власних коливань пружно заземленого стрижня постійного перерізу розраховується по формулі:

$$T = T_0 \cdot \sqrt{1 + \frac{4 \cdot E \cdot I_1}{H \cdot C_F \cdot I_F}} = 0,096 \cdot \sqrt{1 + \frac{4 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 0,038}{10 \cdot 8 \cdot 10^7 \cdot 1,786}} = 0,494 \text{ с},$$

де C_F - коефіцієнт нерівномірності стискання ґрунту, $C_F = 8 \cdot 10^7$ Н/м³ [11]

Для розрахунків необхідні коефіцієнти $\Delta = 2,667$; $\lambda = 2,333$; $\mu = 2$; $\gamma = 0,667$, які визначаються за графіками [11].

Коефіцієнт β_i для кожної ділянки визначається:

$$\beta_i = \left(\frac{x_i}{H} \right)^{\left(1,9 - 0,375 \frac{x_i}{H} \right)}.$$

Коефіцієнт β_i для першої ділянки визначасмо за (4.8):

$$\beta_1 = \left(\frac{8}{10} \right)^{\left(1,9 - 0,375 \frac{8}{10} \right)} = 0,7.$$

Для інших ділянок визначається аналогічно і заноситься в таблицю 4.1

Таблиця 4.1 – Коефіцієнт β_i для інших ділянок.

x_i , м	8	4,5	1,5
β_i	0,7	0,251	0,03

Відносне переміщення для i -ї ділянки, $\frac{1}{H \cdot m}$:

$$\alpha_i = \gamma \cdot \frac{H}{2E \cdot I_i} \cdot \beta_i + \frac{x_i}{H \cdot C_F \cdot I_F}.$$

Визначаємо відносне переміщення для першої ділянки:

$$\alpha_1 = 0,667 \cdot \frac{10}{2 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 0,038} \cdot 0,7 + \frac{8}{10 \cdot 8 \cdot 10^7 \cdot 1,786} = 5,9 \cdot 10^{-9} \frac{1}{H \cdot m}.$$

Для інших ділянок визначається аналогічно і заноситься в таблицю 4.2

Таблиця 4.2– Відносне переміщення центрів ваги для інших ділянок.

$x_i, \text{м}$	8	4,5	1,5
α_i	$5,9 \cdot 10^{-9}$	$3,259 \cdot 10^{-9}$	$1,063 \cdot 10^{-9}$

Нормативне значення статичної складової вітрового навантаження на середині i – ї ділянки, Н/м^2 :

$$q_{ist} = q_0 \theta_i k,$$

де k - аеродинамічний коефіцієнт, $k = 0,7$ [21];

θ_i - коефіцієнт, що враховує зміну швидкісного напору по висоті апаратаа

q_0 - нормативний швидкісний потік, $q_0 = 350 \text{ Н/м}^2$ [21].

Нормативне значення статичної складової вітрового навантаження:

Перша ділянка:

$$q_{st1} = 350 \cdot 0,931 \cdot 0,7 = 229 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}.$$

Друга ділянка:

$$q_{st2} = 350 \cdot 0,775 \cdot 0,7 = 190 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}.$$

Третя ділянка:

$$q_{st3} = 350 \cdot 1 \cdot 0,7 = 245 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}.$$

Статична складова на 1й ділянці:

$$p_{st1} = q_{st1} \cdot D \cdot h_1 = 229 \cdot 2,024 \cdot 4 = 1846,8 \text{ Н}.$$

Статична складова на 2й ділянці:

$$p_{st2} = q_{st2} \cdot D \cdot h_2 = 190 \cdot 2,024 \cdot 3 = 1152 \text{ Н}.$$

Статична складова на 3й ділянці:

$$p_{st3} = q_{st3} \cdot D \cdot h_3 = 245 \cdot 2,024 \cdot 3 = 1488 \text{ Н}.$$

Коефіцієнт пульсації швидкісного потоку m_i для середини i – ї ділянки:

$$m_i = 0,6 \left(\frac{x_i}{10} \right)^{-0,16}, \text{ якщо } x_i \geq 10 \text{ та } m_i = 0,6 \text{ при } x_i < 10 \quad (4.11)$$

Коефіцієнт пульсації $m = 0,6$ при $x_i = 2$ [21].

Приведене відносне прискорення центра тяжіння i – ї ділянки:

$$\eta_i = \alpha_i \frac{\sum_{i=1}^5 \alpha_i m_i p_{ist}}{\sum_{i=1}^5 \alpha_i^2 G_i}.$$

Розраховуємо приведенне відносне прискорення для першої ділянки:

$$\eta_1 = 5,904 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{(5,904 \cdot 10^{-9} \cdot 0,622 \cdot 1847 + 3,259 \cdot 10^{-9} \cdot 0,682 \cdot 1152 + 1,063 \cdot 10^{-9} \cdot 0,6 \cdot 1488)}{(5,904 \cdot 10^{-9})^2 \cdot 100921 + (3,259 \cdot 10^{-9})^2 \cdot 75691 + (1,063 \cdot 10^{-9})^2 \cdot 75961} = 0,014$$

Для інших ділянок визначається аналогічно і заноситься в таблицю 4.3

Таблиця 4.3– Приведене відносне прискорення для інших ділянок.

Ділянки	1	2	3
η	0,014	$7,608 \cdot 10^{-3}$	$2,482 \cdot 10^{-3}$

Безрозмірний параметр:

$$\varepsilon = \frac{T \cdot \sqrt{q_0}}{840} = \frac{0,494 \cdot \sqrt{350}}{840} = 0,011.$$

В залежності від ε коефіцієнт, що встановлює кореляцію пульсацій швидкості $\nu = 0,7$, та графічно коефіцієнт динамічності $\xi = 1,73$ [21].

Динамічна складова вітрового навантаження на i – й ділянці, Н:

$$p_{idyn} = \nu \cdot G_i \cdot \xi \cdot \eta_i.$$

Визначення динамічної складової вітрового навантаження на першій ділянці:

$$p_{1dyn} = 0,7 \cdot 1,009 \cdot 10^5 \cdot 1,73 \cdot 0,014 = 1684,75 \text{ Н.}$$

Для інших ділянок визначається аналогічно і заноситься в таблицю 4.4

Таблиця 4.4 – Динамічна складова навантаження для інших ділянок.

Ділянки	1	2	3
$p_{dyn}, \text{Н}$	1684,75	697,5	227,5

Вітрове навантаження на ділянках, Н:

$$p_i = p_{ist} + p_{dyn}.$$

Розраховуємо вітрове навантаження для першої ділянки:

$$p_1 = p_{1st} + p_{1dyn} = 1847 + 1684,75 = 3532 \text{ Н}.$$

Для інших ділянок визначається аналогічно і заноситься в таблицю 4.5

Таблиця 4.5– Вітрове навантаження для інших ділянок.

Ділянки	1	2	3
p_i	3532	1850	1715

Вигинаючий момент M в розрахунковому перерізі знаходиться:

$$M = p_1(x_1 - x_0) + p_2(x_2 - x_0) + p_3(x_3 - x_0) + p_4(x_4 - x_0) + p_5(x_5 - x_0) = \\ = 3532 \cdot (8 - 1) + 1850 \cdot (4,5 - 1) + 1715 \cdot (1,5 - 1) = 32053 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де x_0 - відстань до найбільш небезпечного перерізу, що розглядаємо, $x_0 = 1$ м [11].

Перевірка міцності корпусу згідно ГОСТ 14249-89.

По вихідним даним для сталі Х18Н10Т при розрахунковій температурі $[\sigma] = 140$ МПа. Розрахунок проводимо для перерізу в місці з'єднання корпусу та опорної обичайки. В перерізі діють навантаження: осьова стискаюча сила F , МН, що дорівнює вазі колони, вигинаючий момент від вітрового навантаження M , МН, зовнішній тиск p , МПа.

Меридіальне напруження на навітряній стороні:

$$\sigma_{N1} = \frac{p \cdot (D + S)}{4 \cdot (S - c)} - \frac{F}{\pi \cdot D \cdot (S - c)} + \frac{4M}{\pi \cdot D^2 (S - c)} = \\ = \frac{1,1 \cdot (2 + 0,012)}{4 \cdot (0,012 - 0,0013)} - \frac{0,25 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 2 \cdot (0,012 - 0,0013)} + \frac{4 \cdot 3,205 \cdot 10^6}{\pi \cdot 2^2 (0,012 - 0,0013)} =$$

$$= 4,891 \cdot 10^7 \text{ МПа} .$$

Меридіальне напруження на підвітряній стороні:

$$\begin{aligned} \sigma_{N2} &= \frac{p \cdot (D + S)}{4 \cdot (S - c)} - \frac{F}{\pi \cdot D \cdot (S - c)} - \frac{4M}{\pi \cdot D^2 \cdot (S - c)} = \\ &= \frac{1,1 \cdot (2 + 0,012)}{4 \cdot (0,012 - 0,0013)} - \frac{0,25 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 2 \cdot (0,012 - 0,0013)} - \frac{4 \cdot 3,205 \cdot 10^6}{\pi \cdot 2^2 (0,012 - 0,0013)} = \\ &4,7 \cdot 10^7 \text{ МПа} . \end{aligned}$$

Кільцеве напруження:

$$\sigma_t = \frac{p \cdot (D + S)}{2 \cdot (S - c)} = -\frac{1,1 \cdot (2 + 0,012)}{2 \cdot (0,012 - 0,0013)} = 1,034 \cdot 10^8 \text{ МПа}.$$

Еквівалентне напруження на навітряній стороні:

$$\begin{aligned} \sigma_{екв1} &= \sqrt{\sigma_{N1}^2 - \sigma_{N1} \sigma_t \frac{\varphi_T}{\varphi_N} + \left(\sigma_t \frac{\varphi_T}{\varphi_N} \right)^2} = \\ &\sqrt{\left(-4,891 \cdot 10^8 \right)^2 - \left(4,891 \cdot 10^8 \right) \cdot \left(-1,034 \cdot 10^8 \right) \cdot 0,9 + \left(-1,034 \cdot 10^8 \cdot 0,9 \right)^2} = 8,067 \cdot 10^7 \text{ МПа} \end{aligned}$$

де $\varphi_N = 1$ при $\sigma_N < 0$ та $\varphi_T = 1$ при $\sigma_T < 0$ [11].

Еквівалентне напруження на підвітряній стороні:

$$\begin{aligned} \sigma_{екв2} &= \sqrt{\sigma_{N2}^2 - \sigma_{N2} \sigma_t + \sigma_t^2} = \\ &= \sqrt{\left(-4,891 \cdot 10^8 \right)^2 - \left(4,891 \cdot 10^8 \right) \cdot \left(-1,034 \cdot 10^8 \right) + \left(-1,034 \cdot 10^8 \right)^2} = 8,969 \cdot 10^7 \text{ МПа}, \end{aligned}$$

де $\varphi_N = 1$ при $\sigma_N < 0$ та $\varphi_T = 1$ при $\sigma_T < 0$ [11].

Перевірка умови міцності на навітряній стороні:

$$\max \{ |\sigma_{N1}|, \sigma_{екв1} \} \leq [\sigma] \varphi_T ,$$

$$\text{якщо } \sigma_{N1} < 0 \text{ то } \varphi_T = 1.$$

На навітряній стороні великим напруженням стало $\sigma_{екв1} = 8,064 \cdot 10^7 \text{ МПа}$. А в правій стороні умови $[\sigma] \cdot \varphi = 140 \cdot 0,9 = 126 \text{ МПа}$.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Умови міцності на навітряній стороні:

$$\sigma_{екв1} = 80,64 \text{ МПа} < 126 \text{ МПа}.$$

Тобто умова міцності навітряної сторони виконується.

Перевірка умови міцності на підвітряній стороні:

$$\max \{ |\sigma_{N2}|, \sigma_{екв2} \} \leq [\sigma] \varphi_T,$$

$$\text{якщо } \sigma_{N2} < 0 \text{ то } \varphi_T = 1.$$

На підвітряній стороні великим напруженням стало $\sigma_{екв2} = 89,69 \text{ МПа}$. А в правій стороні умови $[\sigma] = 140 \text{ МПа}$.

Умови міцності на підвітряній стороні:

$$89,69 < 140.$$

Тобто умова міцності підвітряної сторони виконується.

Перевірка стійкості колони згідно ГОСТ 14249-89.

Колона працює під атмосферним тиском. Товщина стінки обичайки не перевищує товщину стінки опорної обичайки. Перевіряємо стійкість опорної обичайки по формулі:

$$\frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} \leq 1$$

Допустиме осьове стискаюче зусилля з умов місцевої стійкості в границях пружності:

$$\begin{aligned} [F]_{E1} &= \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (S - c)}{D} \right]^2 \sqrt{\frac{100 \cdot (S - c)}{D}} = \\ &= \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5}{2,4} \cdot 2^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (0,012 - 0,0013)}{2} \right]^2 \sqrt{\frac{100 \cdot (0,012 - 0,0013)}{2}} = \\ &= 21,63 \text{ МН}. \end{aligned}$$

Допустиме осьове стискаюче зусилля з умов загальної стійкості в границях пружності:

$$[F]_{E2} = \frac{\pi \cdot (D + S - c) \cdot (S - c) \cdot E}{n_y} \cdot \left(\frac{\pi}{\lambda} \right)^2 =$$

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

$$= \frac{3,14 \cdot (2 + 0,012 - 0,0013) \cdot (0,012 - 0,0013) \cdot 2 \cdot 10^5}{2,4} \cdot \left(\frac{3,14}{14,075} \right)^2 = 280,6 \text{ МН},$$

де λ - гнучкість, і визначається:

$$\lambda = \frac{2,83 \cdot H}{D + S - c} = \frac{2,83 \cdot 10}{10 + 0,012 - 0,0013} = 14,075.$$

Допустиме осьове стискаюче зусилля з умов стійкості:

$$[F]_E = \min \{ [F]_{E1}, [F]_{E2} \} = \min \{ 10,9, 150,8 \} = 21,63 \text{ МН}.$$

Допустиме осьове стискаюче зусилля з умов міцності:

$$[F]_p = \pi \cdot (D + S - c) \cdot (S - c) \cdot [\sigma] =$$

$$= 3,14 \cdot (2 + 0,012 + 0,0013) \cdot (0,012 - 0,0013) \cdot 140 = 9,463 \text{ МПа}.$$

Допустиме осьове стискаюче зусилля:

$$[F] = \frac{[F]_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_p}{[F]_E} \right)^2}} = \frac{96,63}{\sqrt{1 + \left(\frac{96,63}{21,63} \right)^2}} = 8,67 \text{ МН}.$$

Допустимий винаючий момент з умов міцності:

$$[M]_p = \frac{D}{4} \cdot [F]_p = \frac{2}{4} \cdot 9,463 = 4,73 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Допустимий винаючий момент з умов стійкості:

$$[M]_E = \frac{D}{3,5} \cdot [F]_{E1} = \frac{2}{3,5} \cdot 21,63 = 12,36 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Допустимий винаючий момент:

$$[M] = \frac{[M]_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_p}{[M]_E} \right)^2}} = \frac{4,731}{\sqrt{1 + \left(\frac{4,731}{12,36} \right)^2}} = 4,419 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Отже, умова стійкості опорної обичайки:

$$0,029 + 0,00725 = 0,036 \leq 1$$

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Висновок: визначене вітрове навантаження на колону в робочих умовах $0,032 \text{ МН} \cdot \text{м}$. Умови міцності та стійкості з урахуванням вітрового навантаження виконуються. Остаточного приймаємо товщину стінки $s = 0,012 \text{ м}$.

4.2.7 Розрахунок фланцевого з'єднання

Метою проведення розрахунків фланцевого з'єднання є визначення навантажень на кріпильні деталі, обчислення напружень у кріпильних деталях і порівняння їх з допустимими, знаходження напруження в найбільш небезпечних перерізах фланців та порівняння їх з допустимими та перевірка фланців на жорсткість за умовою герметичності. На рисунку 4.10 представлена схем фланцевого з'єднання.

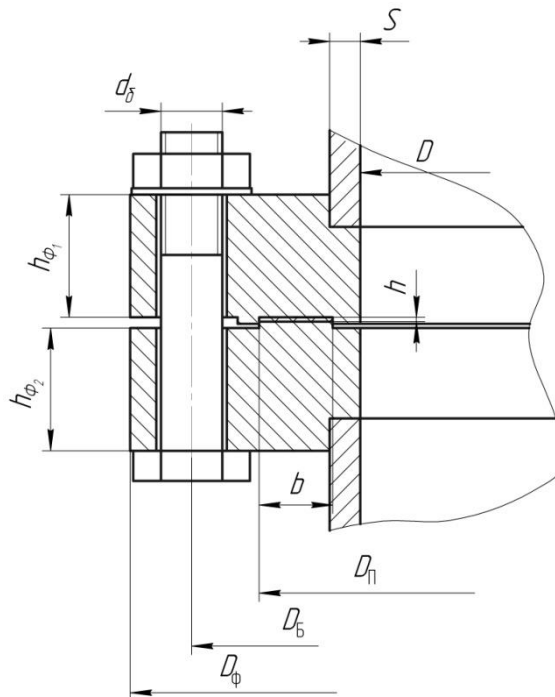


Рисунок 4.11 – Схема фланцевого з'єднання

Вихідні данні до розрахунку:

внутрішній діаметр D , м	2;
зовнішній діаметр $D_{\text{ф}}$, м	2,185;
товщина фланця $h_{\text{ф}}$, м	0,065;
зовнішній діаметр прокладки $D_{\text{п}}$, м	2,135;
ширина прокладки b , м	0,025;

товщина прокладки h , м	0,002;
матеріал прокладки	пароніт, ГОСТ 481-80;
коефіцієнт m	2,5;
мінімальне питоме навантаження q , МПа	20;
матеріал фланців	08X18H10T, ГОСТ5582-75;
границя плинності $\sigma_{\text{тф}}^{20}$, МПа	253;
границя плинності $\sigma_{\text{тф}}^t$, МПа	196;
допустиме напруження $[\sigma]_{\text{тф}}^{20}$, МПа	140;
допустиме напруження $[\sigma]_{\text{тф}}^t$, МПа	130;
модуль пружності E , МПа	$1,96 \cdot 10^5$;
коефіцієнт відносного лінійного розширення $\alpha_{\text{ф}}^t$, K^{-1}	$12,6 \cdot 10^{-6}$;
розрахунковий тиск p , МПа	0,1;
кількість болтів z^B , шт	88;
розрахункова температура t_R , К	353;
діаметр різьби болтів	M24;
внутрішній діаметр d_0 , м	0,021;
матеріал болтів	сталь 3, ГОСТ 380-94;
допустиме напруження $[\sigma]_B^{20}$, МПа	230;
допустиме напруження $[\sigma]_B^t$, МПа	223;
модуль пружності E , МПа	$1,96 \cdot 10^5$;
коефіцієнт відносного лінійного розширення $\alpha_{\text{ф}}^t$, K^{-1}	$12,6 \cdot 10^{-6}$.

Розрахунок ведемо по методиці, приведений в [16].

Середній діаметр прокладки:

$$D_{\text{СП}} = D_{\text{П}} - b, \text{ м.} \quad (4.1)$$

Ефективна ширина прокладки:

$$\text{при } b \geq 0,015 \text{ м, } b_E = 0,5 \cdot b, \text{ м.} \quad (4.2)$$

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Конструктивний коефіцієнт для фланця

$$K_{\Phi} = \frac{D_{\Phi}}{D}. \quad (4.3)$$

Конструктивні коефіцієнти для фланців:

$$\lambda_{\Phi 1} = \lambda_{\Phi 2} = \frac{h_{\Phi 1}}{\sqrt{D \cdot s}}. \quad (4.4)$$

Поправочний коефіцієнт для фланців:

$$\psi_{1\Phi} = 1,28 \cdot \lg K_{\Phi} \quad (4.5)$$

Поправочний коефіцієнт для фланців:

$$\psi_{2\Phi} = \frac{(K_{\Phi} + 1)}{(K_{\Phi} - 1)} \quad (4.6)$$

Геометричні параметри фланців:

$$j_{\Phi 1} = j_{\Phi 2} = \frac{h_{\Phi 1}}{s} \quad (4.7)$$

Безрозмірний параметр фланців:

$$T_{\Phi} = \frac{K_{\Phi}^2 (1 + 8,55 \lg K_{\Phi}) - 1}{(1,05 + 1,945 K_{\Phi}^2) \cdot (K_{\Phi} - 1)}. \quad (4.8)$$

Безрозмірні параметри фланців

$$\omega_{\Phi 1} = \omega_{\Phi 2} = \left[1 + 0,9 \cdot \lambda_{\Phi 1} (1 + \psi_{1\Phi} \cdot j_{\Phi 1}^2) \right]^{-1} \quad (4.9)$$

Кутова піддатливість фланців:

$$y_{\Phi 1} = y_{\Phi 2} = \frac{\left[1 - \omega_{\Phi 1} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\Phi 1}) \right] \cdot \psi_{\Phi 2}}{h_{\Phi 1}^3 \cdot E_{\Phi 1}} \quad (4.10)$$

Розрахункова довжина болтів фланцевого з'єднання:

$$L_{\text{б}} = h_{\Phi 1} + h_{\Phi 2} + h + 0,28 d_{\text{б}}, \text{ м.} \quad (4.11)$$

Лінійна піддатливість металевої прокладки:

$$y_{\Pi} = 0.$$

Площа поперечного перерізу болта:

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

$$f_{\text{Б}} = 0,75 \cdot d_{\text{Б}}^2, \text{ м}^2. \quad (4.12)$$

Лінійна піддатливість болтів:

$$y_{\text{Б}} = \frac{L_{\text{Б}}}{E_{\text{Б}} \cdot f_{\text{Б}} \cdot Z_{\text{Б}}}, \text{ м/Н}. \quad (4.13)$$

Параметр жорсткості фланцевого з'єднання:

$$A_{\Phi} = \left[y_{\text{П}} + y_{\text{Б}} + 0,25 \cdot y_{\Phi_1} + y_{\Phi_2} \cdot D_{\text{Б}} - D_{\text{СП}} \right]^{-1}, \text{ м} \quad (4.14)$$

Параметр жорсткості фланця:

$$B_{\Phi_1} = B_{\Phi_2} = y_{\Phi_1} \cdot D_{\text{Б}} - D - S, \text{ 1/Н}. \quad (4.15)$$

Безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання

$$\gamma = A_{\Phi} \cdot y_{\text{Б}}. \quad (4.16)$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$\alpha_{\phi} = A_{\Phi} \cdot [y_{\text{Б}} + 0,25 \cdot (B_{\Phi_1} + B_{\Phi_2}) \cdot (D_{\text{Б}} - D_{\text{СП}})] \quad (4.17)$$

Для розрахунку болтів фланцевого з'єднання визначимо болтове навантаження. Рівнодіюча внутрішнього тиску:

$$Q_{\text{г}} = 0,785 \cdot D_{\text{СП}}^2 \cdot p, \text{ Н}. \quad (4.18)$$

Реакція прокладок в робочих умовах:

$$R_{\text{П}} = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{СП}} \cdot e_{\text{Е}} \cdot m \cdot p, \text{ Н}. \quad (4.19)$$

Зусилля, що виникає від температурної деформації фланцевого з'єднання:

$$Q_{\text{тФ}} = \gamma \cdot Z_{\text{Б}} \cdot f_{\text{Б}} \cdot E_{\text{Б}} \cdot (\alpha_{\Phi}^{\text{т}} \cdot t_{\Phi} - \alpha_{\text{Б}}^{\text{т}} \cdot t_{\text{Б}}) \quad (4.20)$$

$$\text{де } \alpha_{\Phi}^{\text{т}} = \frac{(\alpha_{\Phi_1}^{\text{т}} + \alpha_{\Phi_2}^{\text{т}})}{2}, \text{ К}^{-1}.$$

Монтажні болтові навантаження фланцевого з'єднання за різних умов розрахунку:

$$P'_{\text{Б1}} = \pi \cdot D_{\text{СП}} \cdot b_{\text{Е}} \cdot q, \text{ Н}. \quad (4.21)$$

$$P''_{\text{Б1}} = \alpha_{\Phi} \cdot (Q_{\text{г}} \pm p) + R_{\text{П}} + \frac{4M}{D_{\text{СП}}}, \text{ Н}. \quad (4.22)$$

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

$$P_{Б1}''' = 0,4 \cdot [\sigma_{Б}]^{20} \cdot Z_{Б} \cdot f_{Б}, \text{ Н.} \quad (4.23)$$

Розрахункове монтажне болтове навантаження:

$$P_{Б1} = \max \{ P_{Б1}''; P_{Б1}''' \}, \text{ Н.} \quad (4.24)$$

Умова міцності прокладки:

$$\frac{P_{Б1}}{\pi \cdot D_{СП} \cdot b} \leq [q], \quad (4.25)$$

Умова міцності виконується.

Болтове навантаження за робочих умов:

$$P_{Б2} = P_{Б1} + 1 - \alpha_{\Phi} \cdot Q_{г} \pm P + Q_{тф}, \text{ Н.} \quad (4.26)$$

Розрахункове навантаження на болти:

$$P_{Б\Phi} = \max \{ P_{Б1}; P_{Б2} \}, \text{ Па.} \quad (4.27)$$

Напруження розтягання болтів за робочих умов:

$$\sigma_{Б}^{20} = \frac{P_{Б1}}{Z_{Б} \cdot f_{Б}}, \text{ Па.} \quad (4.28)$$

Напруження розтягання болтів за умов монтажу:

$$\sigma_{Б}^t = \frac{P_{Б2}}{Z_{Б} \cdot f_{Б}}, \text{ Па.} \quad (4.29)$$

Крутний момент, що виникає від розтягування гайок:

$$M_{СКР} = f_1 \cdot \frac{P_{Б\Phi}}{Z_{Б}} \cdot d_{Б}, \text{ Н·м.} \quad (4.30)$$

Дотичне напруження в болтах:

$$\tau_{Б} = \frac{M_{СКР}}{0,2 \cdot d^3}, \text{ Па.} \quad (4.31)$$

Еквівалентне напруження в болтах:

$$\sigma_{БЕ}^{20} = \sqrt{(\sigma_{Б}^{20})^2 + 3 \cdot \tau_{Б}^2}, \text{ Па;} \quad (4.32)$$

$$\sigma_{\text{БЕ}}^t = \sqrt{(\sigma_{\text{Б}}^t)^2 + 3 \cdot \tau_{\text{Б}}^2} \quad , \text{Па.} \quad (4.33)$$

Умови міцності:

$$\sigma_{\text{БЕ}}^{20} \leq [\sigma_{\text{Б}}]^{20}; \quad (4.34)$$

$$\sigma_{\text{БЕ}}^t \leq [\sigma_{\text{Б}}]^t; \quad (4.35)$$

Умови міцності виконуються.

Для розрахунку фланців на міцність визначимо еквівалентні напруження.

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланця за умов монтажу:

$$M_{01\phi} = 0,5 P_{\text{Б1}} \cdot D_{\text{Б}} - D_{\text{СП}} \quad , \text{Н}\cdot\text{м.} \quad (4.36)$$

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланця за робочих умов:

$$M_{02\phi} = 0,5 \cdot [P_{\text{Б2}} \cdot (D_{\text{Б}} - D_{\text{СП}}) + Q_{\text{г}} \cdot (D_{\text{СП}} - D - S)] \cdot \frac{[\sigma_{\phi}]^{20}}{[\sigma_{\phi}]^t} \quad (4.37)$$

Розрахунковий приведенний згинаючий момент у діаметральному перерізі фланця:

$$M_{0\phi} = \max\{M_{01}; M_{02}\} \quad \text{Н}\cdot\text{м.} \quad (4.38)$$

Розрахунковий діаметр:

$$D^* = D = 2,4 \text{ м.}$$

Максимальні напруження в перерізах S_0 фланців від дії згинаючого моменту M_0 :

$$\sigma_{1\phi 1} = \sigma_{1\phi 2} = \frac{T_{\phi} \cdot M_{0\phi} \cdot \omega_{\phi 1}}{D^* \cdot (s - c)^2} \quad , \text{Па.} \quad (4.39)$$

Напруження в перерізі S_0 фланців від дії згинаючого моменту M_0 :

$$\sigma_{0\phi 1} = \sigma_{0\phi 2} = \Psi_{3\phi} \cdot \sigma_{1\phi 1} \quad , \text{Па.} \quad (4.40)$$

Кільцеве напруження в дисках фланців від згинаючого моменту M_0 :

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

$$\sigma_{\kappa\Phi 1} = \sigma_{\kappa\Phi 2} = \frac{M_{\text{оф}} \cdot [1 - \omega_{\Phi 1} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\Phi 1})] \cdot \Psi_{2\Phi}}{D \cdot h_{\Phi 1}^2} \quad (4.41)$$

Еквівалентні напруження в перерізі S_1 фланців:

$$\sigma_{\text{Еф}1}^{S1} = \sigma_{\text{Еф}2}^{S1} = \sqrt{\sigma_{1\Phi 1}^2 + \sigma_{\kappa\Phi 1}^2 - \sigma_{1\Phi 1} \cdot \sigma_{\kappa\Phi 1}}, \text{Па} \quad (4.42)$$

Кільцеві та меридіальні напруження у втулці фланців від дії внутрішнього тиску:

$$\sigma_{\chi\Phi 1} = \sigma_{\chi\Phi 2} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (s_o - e)}, \text{Па}; \quad (4.43)$$

$$\sigma_{\gamma\Phi 1} = \sigma_{\gamma\Phi 2} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot (s_o - e)}, \text{Па}. \quad (4.44)$$

Еквівалентні напруження в перерізі S_0 втулки фланців:

$$\sigma_{\text{Еф}1}^{S0} = \sigma_{\text{Еф}1}^{S0} = \sqrt{(\sigma_{\text{оф}1} + \sigma_{\gamma\Phi 1})^2 + \sigma_{\chi\Phi 1}^2 - (\sigma_{\text{оф}1} + \sigma_{\gamma\Phi 1}) \cdot \sigma_{\chi\Phi 1}} \quad (4.45)$$

Умови міцності фланців

$$\sigma_{\text{Еф}1}^{S1} \leq [\sigma]_{\text{Тф}1}^t; \quad (4.46)$$

$$\sigma_{\text{Еф}2}^{S1} \leq [\sigma]_{\text{Тф}2}^t; \quad (4.47)$$

$$\sigma_{\text{Еф}1}^{S0} \leq [\sigma_{\Phi 1}^{S0}]^t \cdot \varphi_0; \quad (4.48)$$

$$\sigma_{\text{Еф}2}^{S0} \leq [\sigma_{\Phi 2}^{S0}]^t \cdot \varphi_0; \quad (4.49)$$

Умови міцності виконуються.

Умови герметичності:

$$[\theta] = 0,009 \text{ рад}$$

$$\frac{\sigma_{\kappa\Phi 1, \kappa\Phi 2} \cdot D}{h_{\Phi} \cdot E_{\Phi}} \leq [\theta], \quad (4.50)$$

$$0,0051 \leq 0,009.$$

Умови герметичності виконуються.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

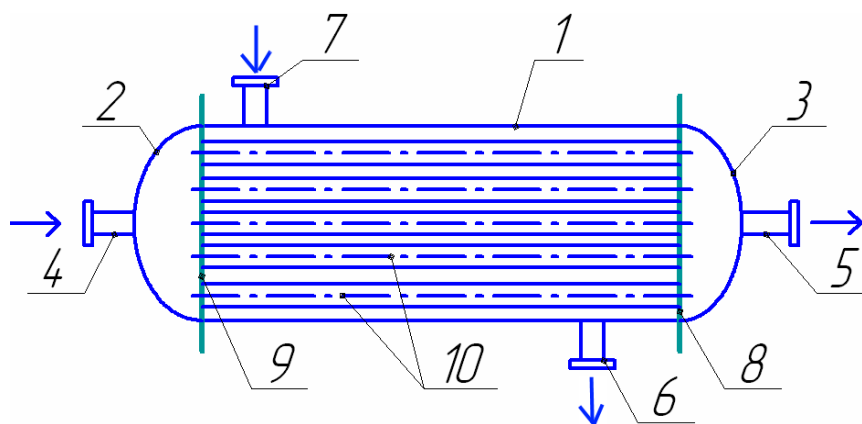
Алгоритмічна схема, таблиця ідентифікаторів та програма розрахунку знаходяться у додатку Г.

Висновок: визначені навантаження на кріпильні деталі, напруження у них, а також напруження в найбільш небезпечних перерізах фланців менші за допустимі, що свідчить про надійність роботи фланцевих з'єднань колони.

4.3 Визначення основних геометричних розмірів холодильника

4.3.1 Параметричний розрахунок холодильника

Метою розрахунку є визначення необхідної поверхні теплообміну, конструктивних розмірів апарату та вибір нормалізованої конструкції апарату, яка задовольняє заданим технологічним умовам. Схема теплообмінника наведена на рисунку 4.11 .



1- кожух; 2,3 – кришки; 4-7 – штуцери;
8,9 - трубні решітки; 10 – теплообмінні труби

Рисунок 4.11 – Схема теплообмінника

Вихідні данні:

витрата метанолу G_2 , кг/с: 3.880;

початкова температура метанолу T_{in} , К 340;

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

кінцева температура метанолу $T_{1к}$, К	298;
початкова температура води $T_{2н}$, К	283;
кінцева температура води $T_{2к}$, К	329;
тиск в міжтрубному просторі P , МПа	0,1.

Методика розрахунку наведена у [23].

Середня температура води:

$$T_2 = \frac{T_{2н} + T_{2к}}{2} = \frac{283 + 329}{2} = 306 K = 33^\circ C$$

Середня температура метанола:

$$T_1 = \frac{T_{1н} + T_{1к}}{2} = \frac{340 + 298}{2} = 319 K = 46^\circ C,$$

де Δt_{cp} - середня різниця температур, при протитоці носіїв.

Різниці температур:

$$\Delta t_6 = T_{2к} - T_{1н} = 25 - 10 = 15^\circ C;$$

$$\Delta t_m = T_{2н} - T_{1к} = 67 - 56 = 11^\circ C;$$

так як $\frac{\Delta t_6}{\Delta t_m} = \frac{15}{11} = 1,364 \leq 2$ то середня різниця температур:

$$\Delta t_{cp} = \frac{(\Delta t_6 + \Delta t_m)}{2} = \frac{(15 + 11)}{2} = 13^\circ C;$$

Теплове навантаження апарату:

$$Q = 1,05 G_2 c_2 (t_{2п} - t_{2к}),$$

Де $G_2 = 3,880$ кг/с – масова витрата 100% розчину метанолу;

1,05 – коефіцієнт, враховуючий втрати в навколишнє середовище;

$c_2 = 2,482$ кДж/(кг·К) – теплоємність 100% розчину метанолу.

$$Q = 1,05 \cdot 3,880 \cdot 2,482 \cdot (67 - 25) = 4,247 \text{ МВт.}$$

Витрата води:

$$G_1 = \frac{Q}{c_1 \cdot (T_{1к} - T_{1н})} = \frac{4,247 \cdot 10^5}{4182 \cdot 46} = 2,208 \frac{\text{кг}}{\text{с}},$$

де $c_1 = 4182$ Дж/(кг·К) – теплоємність води.

Об'ємні витрати:

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

$$V_1 = \frac{G_1}{\rho_1} = \frac{2,317}{981,43} = 0,00224 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

$$V_2 = \frac{G_2}{\rho_2} = \frac{3,880}{786} = 0,0049 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

де $\rho_1 = 981,43 \text{ кг/м}^3$ – густина води;

$\rho_2 = 786 \text{ кг/м}^3$ густина 100% розчину метанолу.

Орієнтовно визначаємо максимальну величину площі теплообміну:

$$F_{\max} = \frac{Q}{K_{\min} \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{445736}{270 \cdot 13} = 127 \text{ м}^2.$$

де $K_{\min} = 270 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}$ – мінімальний коефіцієнт теплопередачі.

Найкращі умови теплообміну відповідають турбулентному режиму руху теплоносія, коли критерій Рейнольдса $Re \geq 15000$. Приймаємо труби 25х2.

Приймаємо одноходовий кожухотрубний теплообмінник з $n = 111$, які мають довжину $L = 6 \text{ м}$ і діаметром кожуха $D = 600 \text{ мм}$.

Для турбулентного руху суміші в трубах швидкість повинна бути:

$$\omega_1 = \frac{Re_{op} \mu_1}{d_{\text{вн}} \rho_1} = \frac{15000 \cdot 0,451 \cdot 10^{-3}}{0,021 \cdot 981,43} = 0,328 \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

де $\mu_1 = 0,451 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ – в'язкість конденсату

$d_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр.

Прохідний переріз трубного простору при цьому повинен бути:

$$S_1 = \frac{V_1}{\omega_1} = \frac{0,00224}{0,328} = 0,00685 \text{ м}^2$$

Перевіряємо Критерій Рейнольдса

Швидкість розчину в трубах:

$$\omega_2 = \frac{V_2}{S_2} = \frac{0,00493}{1,7 \cdot 10^{-2}} = 0,29 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Критерій Рейнольдса для метанолу

$$Re_2 = \frac{\omega_2 d_{\text{тр}} \rho_2}{\mu_2} = \frac{0,29 \cdot 0,025 \cdot 786}{0,4613 \cdot 10^{-3}} = 12370.$$

Визначимо критерій Прандтля для метанолу:

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

$$Pr_2 = \frac{c_2 \cdot \mu_2}{\lambda_2} = \frac{2.482 \cdot 10^3 \cdot 4,613 \cdot 10^{-4}}{0,246} = 4.654$$

Розрахункова формула для визначення Нусельта для метанола:

$$Nu_2 = 0,4 Re_2^{0.6} Pr_2^{0.36} \cdot 0,9^{0.25} = 0,4 \cdot 12370^{0.6} \cdot 4,654^{0.36} \cdot 0,9^{0.25} = 193,397$$

Коефіцієнт тепловіддачі для метанолу:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_2} = \frac{193,397 \cdot 0,246}{0,021} = 2266 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Швидкість руху води в міжтрубному просторі:

$$\omega_1 = \frac{V_1}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot d_{\text{вн}}^2 \cdot n} = \frac{0,00224}{0,785 \cdot 0,021^2 \cdot 111} = 0,059, \text{ м/с}^2,$$

де $d_{\text{вн}}$ - внутрішній діаметр труби.

Критерій Рейнольдса для води:

$$Re_1 = \omega_1 \cdot d_{\text{вн}} \cdot \frac{\rho_1}{\mu_1} = 0,059 \cdot 0,021 \cdot \frac{981,43}{4,51 \cdot 10^{-4}} = 2675$$

Розрахункова формула для визначення Нусельта:

$$Nu_1 = 1,72 \cdot Re_1^{0.6} \cdot Pr_1^{0.33} \cdot d_{\text{зг}} = 1,72 \cdot 2675^{0.6} \cdot 2,76^{0.33} \cdot 0,025 = 6,845$$

Коефіцієнт тепловіддачі для води:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_{\text{зг}}} = \frac{6,845 \cdot 0,656}{0,025} = 179,613 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Виходячи з цього, режим руху - турбулентний.

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}}} = \frac{1}{\frac{1}{179,613} + \frac{1}{1160} + \frac{1}{5800} + \frac{1}{2266} + \frac{0,002}{17,5}} = 139,71 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})},$$

де $\sum r = \frac{1}{1160} + \frac{1}{5800}$ тепловий опір забруднених стінок;

$\frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} = \frac{0,002}{17,5}$ - коефіцієнт теплопередачі.

Густина теплового потоку для розчину:

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

$$q = K \cdot \Delta t_{cp} = 139,71 \cdot 13 = 1816 \text{ Вт} / \text{м}^2$$

Потрібна площа поверхні теплопередачі:

$$F_1 = \frac{Q}{q} = \frac{424690}{1816} = 233,831 \text{ м}^2$$

Приймаємо до установки 2 одноходових кожухотрубних теплообмінника, з'єднаних послідовно.

Запас площі поверхності теплообмінника:

$$100 \cdot \frac{F \cdot n_{одн} - F_1}{F_1} = 100 \cdot \frac{121 \cdot 2 - 233,831}{233,831} = 3,493\%$$

Висновки: приймаємо стандартний [21] одноходовий теплообмінник з наступними розмірами:

Таблиця 4.3 – Технічна характеристика апарата

Параметр апарату	Значення параметру
Площа поверхні теплообміну F , м ²	52
Довжина труб l , мм	6000
Труби	25x2
Діаметр кожуха D , мм	608
Діаметр кожуха внутрішній $D_{вн}$, мм	600
Маса апарата M , кг	1980
Кількість труб n , шт	111
Кількість опор, шт	2

Загальна маса елементного теплообмінника:

$$\sum M = NM = 1 \cdot 1980 = 1980 \text{ кг.}$$

4.3.2 Конструктивний розрахунок холодильника

Метою розрахунку є за відомою кількістю трубок і кроком між ними розрахувати діаметр трубної решітки та корпусу апарата.

При розміщенні труб в трубних ґратках необхідно забезпечити максимальну компактність, зручність розміщення трубних ґраток, надійність закріплення трубок. З точки зору задоволення цих вимог найбільш зручною є схема розміщення трубок у вершин правильних трикутників – шаховий пучок (рисунок.4.11).

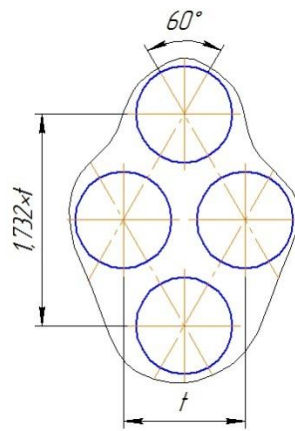


Рисунок 4.12 – Розміщення труб

Вихідні дані:

загальна кількість трубок, n 111;

число труб на діагоналі, b 11;

Для такого розміщення, яке широко застосовують в промисловій практиці як найбільш компактну схему, зв'язок між загальною кількістю трубок n , числом труб на діагоналі b і числом трубок на стороні найбільшого трикутника виражається співвідношенням:

$$n = 3 \cdot a \cdot (a-1) + 1$$

$$111 = 3a^2 - 3a + 1$$

$$3a^2 - 3a - 111 = 0$$

Розв'яжемо рівняння і отримаємо:

$$a = 7$$

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

$$b = 2a - 1 = 13.$$

Визначаємо дійсну кількість трубок :

$$n=3a(a-1)+1=3 \cdot 7 \cdot 6+1=127$$

Міжтрубний крок: $t = 1,3d_{\text{зн}} = 1,3 \cdot 0,025 = 0,03$ м.

Висновок: Отже, необхідно забрати 16 труб при компонованні трубної ґратки, оскільки необхідна кількість 111.

4.3.3 Гідравлічний розрахунок холодильника

Метою гідравлічного розрахунку є визначення гідравлічного опору в трубному та міжтрубному просторах теплообмінника.

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.13.

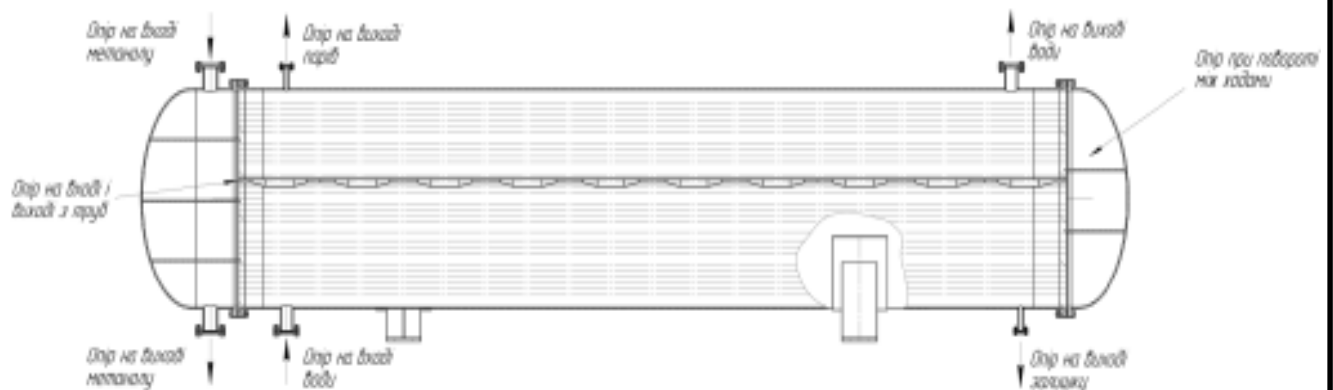


Рисунок 4.13 – Розрахункова схема гідравлічного опору теплообмінника

Вихідні данні:

внутрішній діаметр трубки $d_{\text{вн}}, \text{м}$ 0,021;

довжина труб $L, \text{м}$ 6;

Розрахунок здійснюємо за методикою [20].

Розрахунок гідравлічного опору в трубному просторі:

Відносна шорсткість труб:

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

$$e = \frac{\Delta}{d_{\text{вн}}} = \frac{0,2}{21} = 0,0095,$$

де Δ – висота виступів шорсткостей, $\Delta = 0,2$ мм.

При значенні $Re > 2300$ коефіцієнт тертя визначається:

$$\lambda_1 = 0,25 \cdot \left(\lg \left(\frac{e}{3,7} + \left(\frac{6,81}{Re_1} \right)^{0,9} \right) \right)^{-2} = 0,25 \cdot \left(\lg \left(\frac{0,0095}{3,7} + \left(\frac{6,81}{13790} \right)^{0,9} \right) \right)^{-2} = 0,042$$

Гідравлічний опір трубного простору:

$$\begin{aligned} \Delta P_{TP} &= j \cdot \left[\lambda_1 \cdot \frac{L \cdot z}{d_1} + 2 \cdot z \cdot \varepsilon_3 + (z-1) \cdot \varepsilon_1 \right] \cdot \frac{\rho_{TP} \cdot \omega_{TP}^2}{2} + 2 \cdot \varepsilon_2 \cdot \frac{\rho_{TP} \cdot \omega_{lum}^2}{2} = \\ &= 1,05 \cdot \left[0,042 \cdot \frac{6 \cdot 1}{0,021} + 2 \cdot 1 \cdot 1 + (1-1) \cdot 1,5 \right] \cdot \frac{786 \cdot 0,385^2}{2} + 2 \cdot 2,5 \cdot \frac{786 \cdot 0,982^2}{2} = \\ &= 2751 \text{ кПа} \end{aligned}$$

де j – коефіцієнт, який враховує підвищення гідравлічного опору при зміні конструкції труб на запропоновану, $j = 1,05$;

z – кількість ходів по трубах;

ε_1 - місцеві втрати при повороті між ходами, $\varepsilon_1 = 2,5$ [14];

ε_2 - вхідна і вихідна камера, $\varepsilon_2 = 1,5$ [14];

ε_3 - вхід і вихід з трубного простору, $\varepsilon_3 = 1,0$ [14].

Витрати потужності:

$$N_1 = \frac{\Delta P_{TP} \cdot G_1}{\rho_1} = \frac{2751 \cdot 3,880}{786} = 13,58 \text{ Вт}$$

Кількість рядів труб:

$$m = \sqrt{\frac{n_p}{2}} = \sqrt{\frac{7}{2}} = 1,87$$

Де n_p – кількість труб по горизонталі.

Гідравлічний опір в міжтрубного простору:

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{міжтр}} &= j \cdot \left[\frac{3m(x+1)}{Re_2^{0,2}} \cdot (x+1) + x \cdot \varepsilon_4 \right] \cdot \frac{\rho_{MTP} \cdot \omega_{MTP}^2}{2} + (\varepsilon_5 + \varepsilon_6) \cdot \frac{\rho_{MTP} \cdot \omega_{lum}^2}{2} = \\ &= 1,05 \cdot \left[\frac{3 \cdot 1,87 \cdot (0+1)}{5,59} \cdot (0+1) + 0 \cdot 1,5 \right] \cdot \frac{981,43 \cdot 0,059^2}{2} + (1,5+1) \cdot \frac{981,43 \cdot 0,47^2}{2} = \\ &= 272,797 \text{ Па} \end{aligned}$$

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

де x – кількість перегородок;

ε_4 - місцеві втрати при повороті через перегородку, $\varepsilon_4 = 1,5[14]$;

ε_5 - місцеві втрати на вхід в міжтрубний простір, $\varepsilon_5 = 1,5[14]$;

ε_6 - місцеві втрати на вихід з міжтрубного простору, $\varepsilon_6 = 1,0[14]$.

Витрати потужності:

$$N_2 = \frac{\Delta P_{\text{міжтр}} \cdot G_2}{\rho_2} = \frac{272,797 \cdot 2,317}{981,43} = 0,644 \text{ Вт.}$$

Висновок: визначено гідравлічний опір трубного й міжтрубного просторів $\Delta P_{TP} = 2751 \text{ Па}$ і $\Delta P_{\text{міжтр}} = 272,797 \text{ Па}$. Витрати потужності дорівнюють: для трубного простору 13,58 Вт, а для міжтрубного 0,644 Вт.

4.3.4 Розрахунок еліптичного днища холодильника

Метою даного розрахунку є визначення товщини кришки та перевірка виконання умов міцності.

Схема до розрахунку еліптичної кришки приведена на рисунку 4.14.

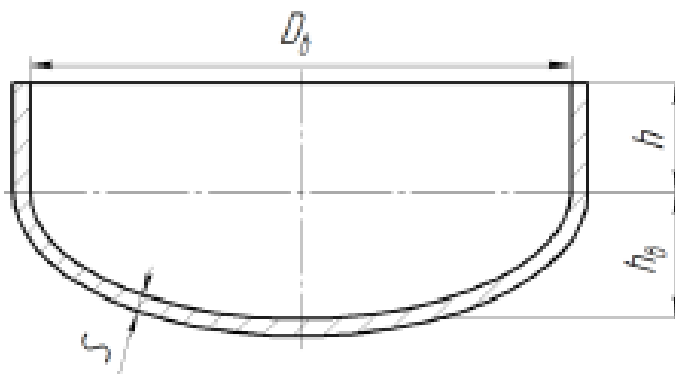


Рисунок 4.14 – Схема до розрахунку еліптичної кришки

Вихідні данні:

робочий тиск P , МПа	0,1;
внутрішній діаметр апарата D , м	0,6;
допустиме напруження для матеріалу обичайки (сталь 12X18H10T) $[\sigma]$, МПа	140;
розрахункова температура t_R , К	345.

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [17].

В даному розрахунку необхідно визначити товщину днища та перевірити, чи виконуються умови міцності.

Розрахункова товщина за внутрішнього надлишкового тиску:

$$S_R = \frac{D \cdot P}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_w - P} = \frac{0,6 \cdot 0,1}{2 \cdot 140 \cdot 0,9 - 0,1} = 0,00023, \text{ м}$$

де φ_w - коефіцієнт міцності зварних швів, $\varphi_w = 0,9$ [16].

Додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії і ерозії $c_1 = 0,5$; $c_1 = \Pi \cdot T = 0,05 \cdot 10 = 0,5$

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску $c_2 = 0,5$

Граничне відхилення по товщині прокату листового прокату залежно від товщини приймається за [18, с.266-267].

Технологічний додаток до розрахункової товщини $c_3 = 0$

Із урахувань поправок маємо:

$$S = S_R + C_1 + C_2 + C_3 = 0,00023 + 0,5 + 0,5 + 0 = 1,238 \text{ мм}$$

Товщина днища необхідно приймати не менше товщини корпусу. Приймаємо 4 мм. Обчислюємо висоту еліптичної частини днища та радіус:

$$H = 0,25 \cdot D = 0,25 \cdot 0,6 = 0,15 \text{ м,}$$

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot H} = \frac{0,6^2}{4 \cdot 0,15} = 0,6 \text{ м,}$$

В зв'язку з тим, що ми не обирали еліптичне днище, його обов'язково необхідно виконувати з відбортовкою. Усі параметри днища вибираються згідно стандартів.

Виконуємо перевірку на допустимий тиск:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (S - C)}{R + 0,5 \cdot (S - C)} = \frac{2 \cdot 140 \cdot 0,9 \cdot (0,004 - 0,001)}{0,6 + 0,5 \cdot (0,004 - 0,001)} = 1,25 \text{ МПа,}$$

$$P = 0,1 \text{ МПа} \leq [P] = 1,25 \text{ МПа} .$$

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

Висновок: Значення робочого тиску P не перевищує значення допустимого тиску $[P]$. Умова міцності виконується, отже розрахована виконавча товщина стінки еліптичного днища $\delta = 2\text{ мм}$.

4.3.5 Розрахунок циліндричної обичайки

Метою даного розрахунку є визначення товщини стінки циліндричної обичайки і перевірка її на міцність.

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.15.

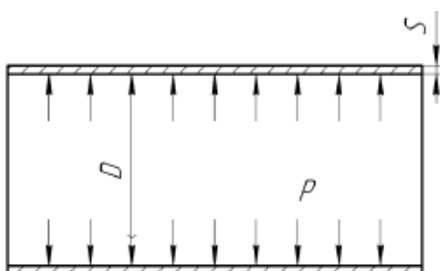


Рисунок 4.15 – Схема товщини стінки обичайки

Вихідні данні:

Робочий тиск P , МПа	0,1;
внутрішній діаметр апарата D , м	0,6;
допустиме напруження для матеріалу обичайки (сталь 12Х18Н10Т) $[\sigma]$, Мпа	140.
розрахункова температура t_R , К	345.

Методика проведення даного розрахунку складена згідно [17].

Розрахунок передбачає визначення товщини стінки обичайки, що знаходиться під дією внутрішнього тиску, із урахуванням додатків на корозію і зручності транспортування та монтажу.

Визначаємо розрахунковий тиск:

$$p_R = P + \rho \cdot g \cdot H = 0,1 + 981 \cdot 9,81 \cdot 6 = 0,157 \text{ МПа}$$

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

Номінальна товщина стінки циліндричної обичайки:

$$S_R = \frac{D \cdot P}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_w - P} = \frac{0,6 \cdot 0,1}{2 \cdot 140 \cdot 0,9 - 0,1} = 0,0002 \text{ мм},$$

де φ_w - коефіцієнт міцності зварних швів, $\varphi_w = 0,9$ [16].

Додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії і ерозії $c_1 = 0,5$;

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску $c_2 = 0,5$

Граничне відхилення по товщині прокату листового прокату залежно від товщини приймається за [18, с.266-267].

Виконавча товщина стінки обичайки:

$$S = S_R + C_1 + C_2 + C_3 = 0,0002 + 0,5 + 0,5 + 0 = 1,0002 \text{ , мм}$$

де C_1 – прибавка на компенсацію корозії та ерозії.

$$C_1 = \nu \cdot \tau = 0,05 \cdot 10 = 0,5 \text{ мм},$$

де ν - швидкість корозії, $\nu = 0,05$ мм/рік;

τ - строк служби, $\tau = 10$ років;

C_2 – прибавка на компенсацію мінусового допуску до товщини листа, $C_2 = 0,5$ мм;

C_3 – технологічна прибавка, яка дорівнює, $C_3 = 0$ мм.

Приймаємо $S = 4$ мм, з метою забезпечення міцності обичайки.

Допустимий тиск в обичайці:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_w \cdot (S - C)}{D + (S - C)} = \frac{2 \cdot 140 \cdot 0,9 \cdot (0,004 - 0,001)}{0,6 + (0,004 - 0,001)} = 1,257 \text{ МПа}.$$

Перевіряємо умову міцності:

$$P \leq [P] ,$$

$$0,1 \text{ МПа} \leq 1,257 \text{ МПа}.$$

Висновок: Через те, що умови застосування формул виконуються, а допустимий внутрішній надлишковий тиск більше за розрахунковий, то приймаємо товщину стінки $S = 4$ мм.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

4.3.6 Розрахунок технологічних штуцерів

Метою розрахунку є вибір стандартних штуцерів за тиском і умовним діаметром.

Розрахункова схема штуцера наведена на рисунку 4.16.

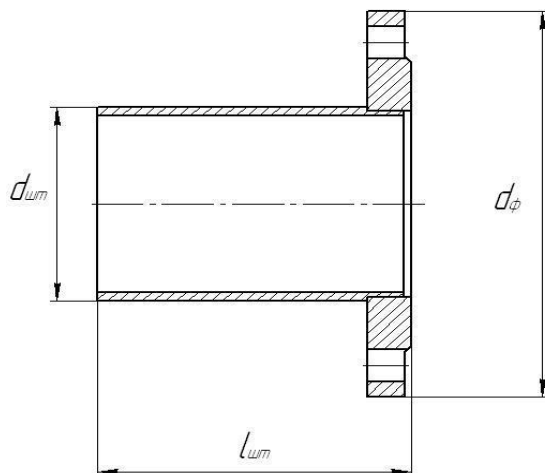


Рисунок 4.16 – Розрахункова схема штуцера

Вихідні данні:

масова витрата спирту, кг/с, $G_{\text{спирту}}$	3,88;
масова витрата води, кг/с, $G_{\text{води}}$	2,317;
рекомендована швидкість для парів спирту, м/с, $W_{\text{пар.спирту}}$	15;
рекомендована швидкість для спирту, м/с, $W_{\text{спирту}}$	1,5;
рекомендована швидкість для води, м/с, $W_{\text{води}}$	1,5;
густина спирту, кг/м ³ , $\rho_{\text{спирту}}$	786;
густина води, кг/м ³ , $\rho_{\text{води}}$	981,43.

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [20].

Розраховуємо діаметр штуцера для входу і виходу етану. Всі фізичні властивості відповідно вибираємо для етану при середній температурі.

Розраховуємо діаметр штуцера для входу і виходу спирту:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{спирту}}}{\rho_{\text{спирту}} \cdot \pi \cdot W_{\text{спирту}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,88}{786 \cdot 3,14 \cdot 1,5}} = 0,065 \text{ м.}$$

Приймаємо $d_1 = 80 \text{ мм}$

Тоді дійсна швидкість руху в штуцерах:

$$\omega_1 = \frac{4 \cdot G_{\text{спирту}}}{\pi \cdot \rho_{\text{спирту}} \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 3,88}{3,14 \cdot 786 \cdot 0,08} = 0,982 \text{ м/с.}$$

Розраховуємо діаметр штуцера для входу і виходу води:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{води}}}{\rho_{\text{води}} \cdot \pi \cdot W_{\text{води}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,317}{981,43 \cdot 3,14 \cdot 1,5}} = 0,045 \text{ м.}$$

Приймаємо $d_2 = 80 \text{ мм}$

Тоді дійсна швидкість руху в штуцерах:

$$\omega_2 = \frac{4 \cdot G_{\text{води}}}{\pi \cdot \rho_{\text{води}} \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 2,317}{3,14 \cdot 981,43 \cdot 0,080} = 0,47 \text{ м/с}$$

Розміри нормалізованих штуцерів [21]:

1) 2 штуцери 80–0,6 – 1 – 5 – 150–12X18Н10Т–АТК 24.218.06-90 для входу і виходу метанолу, що має наступні параметри:

умовний діаметр, м, D_y	0,08;
зовнішній діаметр патрубку, м, d_T	0,089;
товщина стінки патрубку, м, S_T	0,004;
висота штуцера, м, H_T	0,155.

2) 2 штуцери 80–0,6 – 1 – 5 – 150–12X18Н10Т–АТК 24.218.06-90 для входу і виходу води, що має наступні параметри:

умовний діаметр, м, D_y	0,08;
зовнішній діаметр патрубку, м, d_T	0,89;
товщина стінки патрубку, м, S_T	0,004;
висота штуцера, м, H_T	0,155.

3) 2 штуцери 80–0,6 – 1 – 5 – 150–12X18Н10Т–АТК 24.218.06-90 для

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

виходу залишку води та парів, що має наступні параметри:

умовний діаметр, м, D_y	0,025;
зовнішній діаметр патрубку, м, d_T	0,032;
товщина стінки патрубку, м, S_T	0,0035;
висота штуцера, м, H_T	0,155.

Висновок: було розраховано та прийнято стандартні розміри штуцерів для входу і виходу метанолу, для входу та для виходу води, для виходу залишку води і парів, та дійсні швидкості руху в штуцерах.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

5 Охорона праці

Згідно закону України про охорону праці на нові машини, механізми, обладнання необхідно розробити нешкідливі та безпечні умови їх експлуатації обслуговуючим персоналом, потрібно оформити сертифікат на безпечну експлуатацію, згідно зі встановленими зразками [24].

Темою дисертаційної роботи є: *«Модернізація установки ректифікації водяно-метилової суміші з розробкою ректифікаційної колони»*.

Створення здорових та безпечних умов праці обумовлюють необхідність раннього виявлення шкідливих і небезпечних факторів, для того щоб на стадії проектування намітити заходи, які слід проводити для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу, а саме оператора лінії.

Контроль параметрів технологічного процесу здійснює оператор лінії, пульт управління якого розташований у виробничому приміщенні з загальною площею $S = 180 \text{ м}^2$ та об'ємом $V = 1800 \text{ м}^3$.

При роботі устаткування по виробництву водно-метилової суміші виникають небезпечні фактори, які загрожують здоров'ю та життю людини. Тому необхідною вимогою є відповідність цих факторів встановленим державним стандартам, санітарним нормам та правилам.

Як впливає з технологічної частини проекту в виробництві виділяються шкідливі, пожежо - і вибухонебезпечні речовини, використовується електрична, механічна і теплова енергія.

Шкідливими і небезпечними виробничими факторами при роботі та обслуговуванні установки вилучення пропанової фракції є:

- ураження електричним струмом;
- небезпека технологічних процесів і обслуговування устаткування;
- повітря робочої зони;
- виробничий шум і вібрація;
- виробниче освітлення;

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

- пожежо небезпечність;
- надзвичайні ситуації

5.1 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів

5.1.1 Електробезпека

Згідно ПУЕ виробниче приміщення відноситься до особливо небезпечних приміщень.

Електричне устаткування на проектованій установці живиться від 3-х фазної 4-х провідної електричної мережі перемінного струму промислової частоти з глухозаземленою нейтралю напругою 380/220 В.

Внаслідок транспортування нафтопродуктів, що володіють здатністю працювати і накопичувати електростатичні заряди, усередині трубопроводів можливий підвищений рівень статичної електрики.

Основними причинами враження електричним струмом є: дотик до відкритих струмопровідних елементів устаткування, що виявилось під напругою внаслідок порушення ізоляції, а також поразка кроковою напругою і через електричну дугу.

Електробезпечність

Для забезпечення електробезпечності передбачені організаційні і технічні заходи:

інструктаж і навчання безпечним методам праці;

установлення плакатів і знаків безпеки;

захисне заземлення і занулення;

захисне відключення;

вирівнювання потенціалу;

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

застосування малих напруг 12 для харчування переносних світильників і ручного електроінструмента;

захисний поділ мереж;

ізоляція струмоведучих частин $R \geq 0,5 \text{ МОм}$. Контроль ізоляції здійснюється прибором пнки;

застосування огорожувальних пристроїв, орієнтація в електроживленні, недоступність;

установлення попереджувальної сигналізації, блокувань.

Використання електрозахистних засобів, у т.ч. діелектричних рукавичок, інструментів з ізолюючими ручками, покажчиків напруги.

Електростатична безпека забезпечується створенням умов, що попереджають виникнення розрядів статичної електрики за рахунок вибору оптимальних швидкостей руху продуктів по трубопроводах і виключення подачі продуктів в апарати падаючим струменем. Усі трубопроводи, що знаходяться в місцях перетинання і зближення один з одним, з металевими конструкціями чи сходами, з'єднані між собою перемичками. У місцях виникнення і нагромадження електростатичних зарядів застосовують радіоізотопні нейтралізатори типу НР-1 і НР-6.

Проектом передбачене застосування вибухозахищеного електроустаткування.

Пристрій занулення і заземлення виконується відповідно до ПУЕ.

Безпека технологічних процесів і устаткування.

Розроблені заходи для забезпечення безпечного проведення процесу:

1. Технологічна схема прийнята з мінімально-можливою кількістю апаратів при забезпеченні необхідної якості товарної продукції.

2. Передбачено продувку апаратів азотом для виключення утворення вибухонебезпечних сумішей при пуску в роботу чи зупинці устаткування.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

3.Технологічна система оснащена засобами контролю за технологічними параметрами і сигналізацією при їхньому відхиленні від заданих значень, засобами автоматичного і дистанційного регулювання.

4.Проектом передбачається комплексна автоматизація технологічних процесів з виносом в операторну всіх параметрів, що забезпечують безпечну роботу устаткування

5.Усі трубопроводи й устаткування, що має температуру зовнішніх поверхонь вище 333 К, у зонах обслуговування теплоізолюються

6.Для захисту апаратури від перевищення тиску проектом передбачені запобіжні клапани, що захищають окремі апарати, чи трубопроводи групи апаратів.

7.Апарати, обслуговування яких зв'язано з перебуванням на висоті, обладнаються промисловими площадками зі східцями, що мають поруч висотою 1м.

8.Забезпечується електроустаткування, що відповідає умовам навколишнього середовища, у тому числі по вибухозахисту; виконується захисне заземлення електроустановок, захист від проявів статичної електрики, блискавкозахисту будинків і споруджень. На випадок виникнення аварійної ситуації передбачене відключення електроустаткування з розподіленою системою керування.

9.На випадок виникнення аварійної ситуації обслуговуючий персонал забезпечений киснево-ізолюючими приладами типу “СТОСІВ-8” і фільтруючими протигазами марки “А” і “БКФ”.

З метою запобігання травм рекомендується прийняти такі міри безпеки: рубильники включення установки знаходяться у спеціальній шафі; встановлені стаціонарні огороження та деякі струмопровідні частини встановлені на недосяжні висоті, блокування у вигляді механічних та електромагнітних замків, проводи проводити в захисних металевих рукавах; на панель керування вивести

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

сигнальні лампи індикації включення електроустаткування; вузли установки, що можуть виявитися під напругою, мають зажими для підключення занулення.

Принцип дії занулення – перетворення замикання на корпус в однофазне замикання, при якому спрацьовує захист (топкі вставки, автомати) і електропристрій вимикається, при цьому $I_{к.з.} \geq 3I_H$.

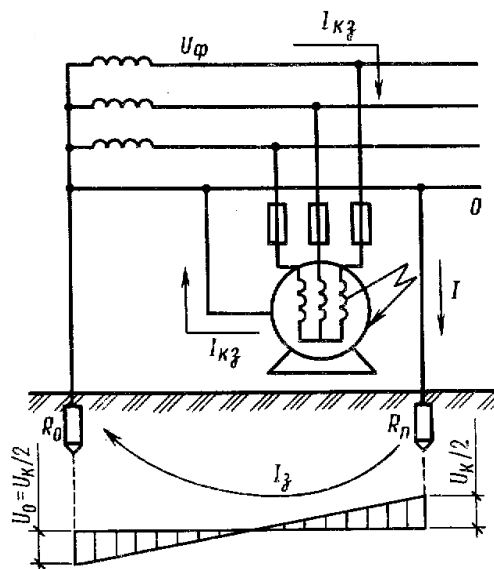


Рисунок 5.1 – Схема занулення електрообладнання

Відповідно до ГОСТ 12.1.030-81. Струм нульового проводу за умов короткого замикання:

$$I_{к.з.} = \frac{U_{\phi}}{r_0 + z_0} = \frac{220}{0,4 + 0,2} = 367 \text{ A}$$

У аварійному режимі застосовується захисне занулення.

5.1.2 Небезпека технологічних процесів і обслуговування устаткування

Найбільш небезпечними процесами в проектуваному виробництві є: нагрів сировини в парогенераторах, перекачування насосами пожежо- і вибухонебезпечних речовин.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

Проектом передбачене застосування насосів, що є джерелами шуму і вібрації. Існує небезпека одержання травм від частин насосів, що рухаються. У проекті використана пара з високою температурою ($T=443\text{ K}$).

Основними причинами аварійної ситуації є:

порушення технологічного режиму в результаті відмов у системі автоматизованого керування і регулювання технологічним процесом;

раптове припинення подачі сировини, пари, палива, електроенергії і т.д., що приводить до перебоїв у роботі технологічного устаткування;

розгерметизація технологічного устаткування, арматури, ущільнень у фланцевих з'єднаннях трубопроводів;

потрапляння високих потенціалів при грозових розрядах у виробниче приміщення;

розряди статичної електрики у вибухонебезпечному середовищі апаратів і трубопроводів.

Для забезпечення безаварійної роботи установки передбачений ряд заходів.

5.1.3 Повітря робочої зони

Проектом передбачена вентиляція приміщення де розташовано насоси.

У зоні роботи операторів передбачається кондиціонування повітря за допомогою сплит-систем.

В усіх виробничих приміщеннях запроектоване парове опалення.

Робітники й інженерно-технічний персонал, безпосередньо зв'язані з обслуговуванням технологічного устаткування, забезпечуються індивідуальними фільтруючими проти газами.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

Робота по обслуговуванню установки та випарного апарату належить до робіт середньої важкості з енерговитратами людини 160 – 235 Дж/с. У приміщенні, де встановлена установка, повинні підтримуватися наступні умови:

Робота оператора на установці - це важка фізична робота, оскільки лінія працює в умовах шуму, теплових виділень. Робота проводиться в 3 зміни, цілодобово, в усі пори року.

Фактичні параметри умов відповідають нормам і забезпечуються наступними заходами:

- в холодну пору року підігрів приміщення батареями з теплоносіями води, яка нагріта до температури $50 \div 60^{\circ}\text{C}$, ДСН 3.3.6.042-99;

- в теплу пору року – природна вентиляція через верхні пройоми.

При роботі установки фактична концентрація парів метанолу складає 2 мг/м³, що нижче нормативної ГДК, котра складає 8...10 мг/м³, так як в цеху встановлена приточно-витяжна вентиляція, а над місцем їх випаровування встановлено витяжний зонт .

Отже хімічний склад повітря робочого місця відповідає вимогам ГОСТ 12.1.005-88/98.

Основна маса шкідливих виділень видаляється місцевим відсмоктуванням, вбудованим в технологічне обладнання.

5.1.4 Виробничий шум і вібрації

Зважаючи на те, що у виробничому приміщенні, де знаходяться основні джерела шуму, немає постійного перебування обслуговуючого персоналу, заходу для зниження рівня звукового тиску не передбачаються.

Джерелом шуму при роботі обладнання є компресори, рівень шуму в джерелах $L=100\text{дБА}$.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

Персонал, що обслуговує компресорне відділення, забезпечити індивідуальними засобами захисту.

Як індивідуальні засоби захисту від шуму відповідно використовують м'які прогумовані вкладиші, тампони з ебоніту чи гуми, які знижують ΔL на 69 дБа, ДСН 3.3.6.042-99 .

Для захисту рук від впливу локальної вібрації відповідно до ГОСТ 12.4.002-74 прийняті рукавиці чи рукавички, виготовлені з віброзахисного матеріалу. Для захисту від вібрації, переданої людині через ноги, передбачене взуття на товстій гумовій підшві.

Для контролю рівня шуму і вібрації передбачений прилад ВШВ-003 і шумо-віброзамірний комплекс ШВК-1. Сумарний час роботи в контакті з вібрацією не перевищує 2/3 робочої зміни. Тривалість неперервної дії вібрації не перевищує 15 – 20 хв. При такому режимі обідня перерва не менше 40 хвилин.

5.1.5 Виробниче освітлення

Проектом передбачене природне, штучне і суміщене освітлення. Система природного освітлення - комбінована. Система штучного освітлення: загальна і комбінована. Проектом передбачене робоче, евакуаційне, аварійне і ремонтне освітлення.

В приміщенні розташовано десять вікон розміром 3,6 х 1,6 м, КПО 1,44 %

Розряд зорових робіт на проєктованому виробництві IVв.

Проектом передбачається штучне освітлення у всіх приміщеннях і на всіх площадках установки.

Світильники обрані виходячи з категорії і класу приміщень по вибухо-пожежобезпечності й умов експлуатації відповідно до ПУЕ і ДСТ Р51330.13-99.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

Для освітлення виробничих приміщень проектом передбачені люмінесцентні світильники у вибухозахищеному виконанні типу НОГЛ-80 з лампою потужністю 80 Вт, свідовий потік становить 4000 лм, $E_{\text{ном}}=260$ лк.

Згідно ДБНВ 2.5.28-200 для підвищення рівномірності розподілу яркості у полі зору, стеля і стіни виробничих приміщень пофарбувати у світлі тони. Виробниче устаткування пофарбувати в ясно-зелені тони, частини що рухаються – ясно-жовті, а відкриті механізми в яскраво-червоний колір.

Для контролю освітленості використовують люксметри Ю-1 16 разів у рік і після ремонту освітлювальної установки.

Визначимо висоту підвісу світильників над підлогою.

$$h_0 = H - h_c = 4,3 - 0,5 = 3,8 \text{ м}$$

Для світильників загального освітлення зі світлодіодними лампами потужність до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно повинна бути 2,5–4,0 м, залежно від характеристики світильника. В нашому випадку h_0 відповідає цій вимозі.

Висота підвісу світильника над робочою поверхнею дорівнює:

$$h = h_0 - h_p = 3,7 - 0,7 = 3,1 \text{ м}$$

За табличними даними, вибираємо світлодіодну лампу, потужністю 20 Вт, у кількості 300 шт. світловий потік якої становить 4000 лм, фактична освітленість становить $E_{\text{ф}}=280$ лк (ДБНВ 2.5.28-2006).

5.1.6 Пожежна безпека

На проєктованій установці в приміщенні використовуються вибухопожежонебезпечні речовини, а саме горючі гази, горючі рідини у такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні парогазоповітряні суміші, при спалахуванні яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні. Таким чином наше приміщення належить до категорії А.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

На проєктованій установці пожежі і вибухи можливі на наступних ділянках: приміщення насосної, блок колон, блок теплообмінників і повітряних холодильників та в парках де розташовуються резервуари. Можливі причини загоряння: влучення в повітря робочої зони парів розчинника здатного створювати пожежо-вибухонебезпечні суміші з киснем повітря, розгерметизація фланців трубопроводів, арматури чи апаратів що може призвести до потрапляння мастила в робочу зону, коротке замикання електроустаткування з ушкодженою ізоляцією. На проєктованому виробництві можливі наступні джерела загоряння: електричні іскри, розряди зарядів статичної електрики, прямий удар блискавки у виробниче приміщення, замет високих потенціалів через наземні і підземні комунікації, $L=8k(v) \text{ м}^3/\text{год}$, клас приміщення Б2.

Забезпечується ступінь вогнестійкості об'єкта II по СНиП 2.01.02-85, НКМВ=20%.

Для забезпечення пожежної безпеки проєктом передбачена система зв'язка й оповіщення, системи порошкового та пінного пожежогасіння, система протипожежного водопроводу, а також первинні засоби пожежогасіння, стаціонарні вогнегасники та наведення схем шляхів евакуації.

Протипожежний водопровід забезпечує роботу зрошувальних систем колонних апаратів і резервуарів з підключенням для пересувної пожежної техніки.

Для протипожежного захисту блоку колон передбачені стаціонарні установки пінного підшарового пожежогасіння та зрошувальні системи на усю висоту колонних апаратів. Для охолодження при пожежі резервуарів, що знаходяться поруч з місцем пожежі передбачені стаціонарні зрошувальні системи на усю висоту резервуарів і які складаються з двох полукілець, що дає змогу охолоджувати тільки ту частину резервуарів, яка нагрівається. Пожежогасіння в резервуарах здійснюється за допомогою стаціонарної установки пінного підшарового пожежогасіння.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

Для протипожежного захисту компресорної і насосної використовується система порошкового пожежегасіння – модулі порошкового пожежегасіння у вибухозахищеному виконанні, згідно ДБН В.2.5-13-98*.

Зовнішнє пожежегасіння виробничого будинку здійснюється від пожежних гідрантів існуючої кільцевої протипожежної мережі.

Крім того, на установці передбачена наявність первинних засобів пожежегасіння: порошкових вогнегасників типу ОПС-6, ОП-1, СИ-120, пересувних вуглекисневих вогнегасників УП-1М, шухляд з піском.

5.1.6 Надзвичайні ситуації

В нашому цеху стався вибух загальною масою горючої речовини – 50 т. Характеристики елементів цеху:

будівля – зі збірного залізо бетону;

верстати – важкі;

кабельні лінії – наземні;

контрольно-вимірювальна апаратура – наявна;

границі вогнетривкості несучих стін – 2 год; границі вогнетривкості перегородок – 0,25 год. Категорія виробництва з пожежної безпеки – В. Щільність забудови об'єкту – 25%.

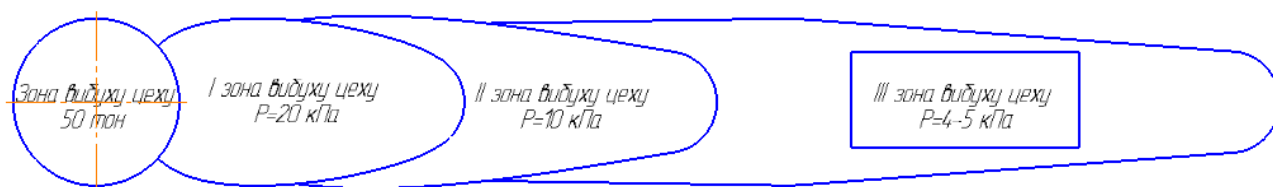
Розрахункова частина:

Зона I : $r_1 = 225\text{м}$;

Зона II: $r_2 = 378\text{м}$;

Висновок: сусідній об'єкт опиниться за межами цих зон, тобто у зоні повітряної ударної хвилі (зона III).

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91



$$\Delta P_{\text{ф}} = 4-5 \text{ кПа.}$$

Ступінь руйнування сусідньої будівлі – середня. Характеристика руйнувань будівлі:

Руйнування даху, легких внутрішніх перегородок, в капітальних стінах з'являються тріщини;

Ступінь руйнування верстатів – слабкі. Характеристика руйнувань промислового обладнання:

Пошкодження окремих елементів обладнання, важелів управління, вимірювальних приладів;

Ступінь руйнування контрольно-вимірювальної апаратури – сильні;
Ступінь руйнування кабельних ліній – слабкі;

Ступінь ураження людей – від прямої дії – слабкі. Характеристика уражень людей:

Ступінь вогнестійкості– III ступінь вогнестійкості; Очікувана пожежна обстановка:

для виробництва категорії пожежної небезпеки В, ступеня вогнестійкості будівель – III, при надмірному тиску 25 кПа і щільності забудови більше 20% можна очікувати в перші 30 хвилин окремі пожежі з переростанням за 1...2 год в суцільну.

Безпечна кількість вибухової речовини - менше 50 т.

Визначаємо безпечну кількість пропану для уникнення будь-яких руйнувань, тобто контрольно- вимірювальна апаратура вціліє , якщо кількість

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

пропану буде менше 15 т.

Висновки: На відстані 800 м від цеху стався вибух пропану, що призвело до руйнувань будівлі, елементів цеху, постраждали люди. В першу чергу треба сповістити про надзвичайну ситуацію.

Серед рекомендацій, спрямованих на зменшення заподіяної шкоди та уражень людей, можуть бути такі:

- укріпити будівлю установленням додаткових колон, ферм;
- верстати надійно закріпити на фундаменті, установити захисні навіси;
- кабельні лінії прокласти під землею;
- створити 50% запас контрольно-вимірювальної апаратури;
- установити на вікнах захисні металеві сітки;
- установити і контролювати стан вогнегасників та протипожежних систем;
- зменшити запасу вибухонебезпечної речовини до безпечної кількості.

План евакуації з виробничого приміщення зображено на рисунку 5.1.

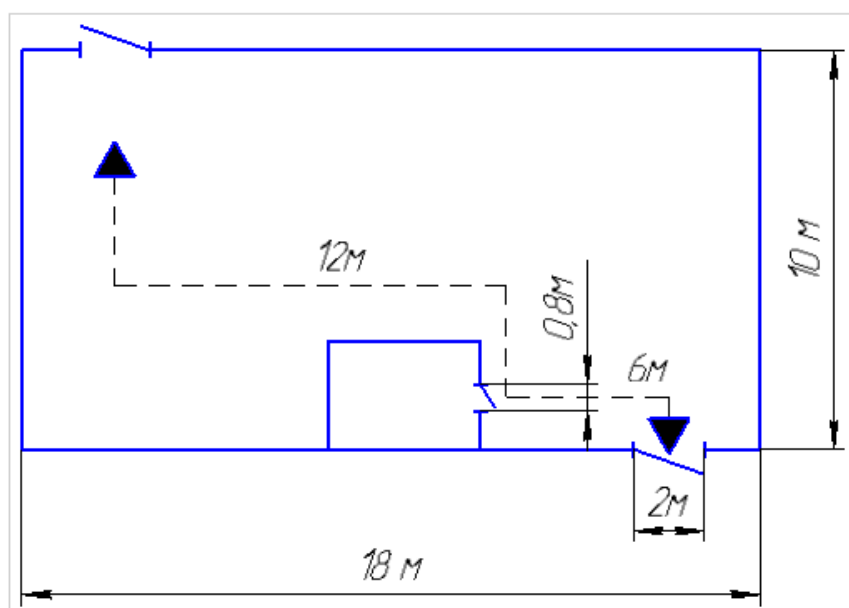


Рисунок 5.1 – План евакуації з виробничого приміщення

6 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації ректифікаційної колони та холодильника

Апарати, їх деталі і вузли повинні виготовлятися на підприємствах, що мають технічні засоби, які можуть забезпечувати їх якісне виготовлення у відповідності до вимог проекту, ГОСТів, ОСТів, ТУ та ін. технічної документації. Виконання апарату та його вузлів повинно проходити по заздалегідь розробленій технології та з дотриманням відхилень від розмірів, як показано на кресленнях і ТУ на виготовлення апарата. Апарати, в яких в стінках під час виготовлення (при вальцюванні, штамповці, зварюванні тощо) можуть з'явитися недопустимі напруження, піддають термообробці. Необхідність та режим термообробки вказуються ТУ.

Монтажне збирання вертикального апарата до робочого положення відбувається за допомогою башенних кранів знизу доверху (метод нарощування). Цей спосіб (рисунок 6.1) використовується, якщо це монтаж або капітальний ремонт колон будь-яких висот та ваги. Зважаючи на це, вантажопідйомність крану визначають за вагою найважчої частиною цієї колони (рисунок 6.1).

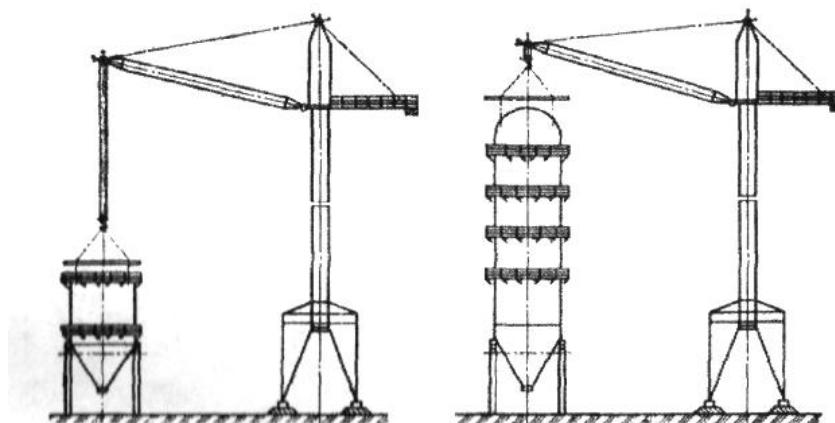
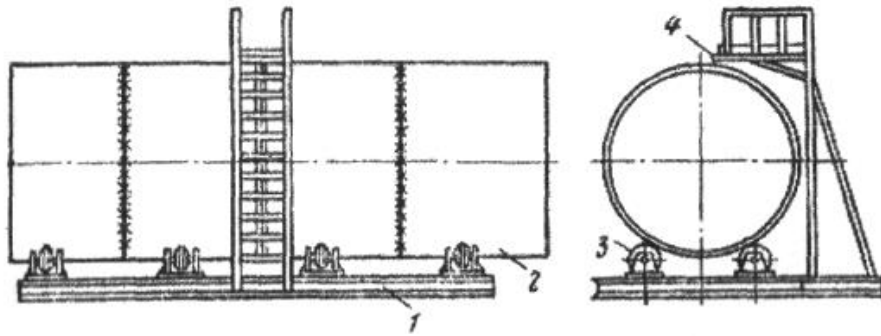


Рисунок 6.1 – Складання колони знизу доверху (метод нарощуванням)

Для збирання або зварювання колони у горизонтальному положенні використовують роликові стенди (рисунок 6.2). Цей стенд має раму, на якій встановлено приводні роликові опори та роликові опори, які можуть вільно обертися. При цьому, зазвичай, ролики в гумі.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94



1 – рама; 2 – апарат; 3 – роликова опора; 4 – зварювальна площадка

Рисунок 6.2 – Стенд роликовий

Установка колони, яка складена й знаходиться горизонтально (після її подачі з місця виготовлення на монтажну зону або збирання в зоні монтажу), може відбуватися декількома методами, вибір яких залежить від великої кількості факторів, а саме: фінансові можливості, термін монтажу, характеристика монтажного обладнання (маса, габарити, стійкість при підйомі колони), компонування технологічного обладнання в монтажній зоні, наявність потрібних вантажопідйомних пристроїв.

Вимоги до експлуатації. Для управління роботою та забезпечення нормальних умов його експлуатації, апарат оснащений: приладами для виміру тисків та температур в середовищі; запобігачим обладнанням від збільшення допустимих тисків; запірною трубою арматурою на підводящих та відводящих трубопроводах; приладом виміру рівня рідини.

Запобіжне обладнання на апараті монтується для того, щоб не підвищувався тиск вище за допустимий.

7 Рівень стандартизації та уніфікації

Основна мета уніфікації – приведення до одноманітності, до єдиної форми або системи. Раціональне скорочення числа видів об'єктів однакового функціонального призначення [25].

Уніфікація – найпоширеніший метод стандартизації.

Рівень стандартизації й уніфікації дорівнює:

$$K_c = \frac{n_c}{N} = \frac{10}{28} = 0,36,$$

де: $n_c = 10$ – кількість стандартних деталей; $N = 28$ – загальна кількість деталей.

$$K_y = \frac{n_c + n_z}{N} = \frac{10 + 14}{28} = 0,86,$$

де: $n_z = 14$ – кількість уніфікованих деталей.

Висновок: даний колона відповідає сучасним умовам стандартизації.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		96

8 Стартуп-проект

8.1 Опис ідеї

Бізнес-ідея: проект належить до масообмінного обладнання, а саме до ковпачкових тарілок ректифікаційних та абсорбційних колон, і може бути використана в хімічній, харчовій і споріднених з ними галузях промисловості.

Поставлено задачу вдосконалити контактну тарілку масообмінного апарата, у якій її нове конструктивне виконання забезпечує саморегулювання прохідного перерізу по легкій фазі та істотно знижує рівень бризковинесення, що істотно розширює технологічні можливості тарілки та масообмінного апарата в цілому.

Таблиця 8.1 - Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Встановлення на торцях вертикальних ділянок зігнутих стрижнів перфорованого горизонтального полотна	1.Виготовлення ректифікаційної колони з кращими експлуатаційними характеристиками за рахунок конструктивного вдосконалення, яка буде мати конкурентну перевагу на ринку масообмінного обладнання	Розширення технологічних можливостей в цілому
	2. Застосування кращого масообмінного обладнання для реалізації стартап-проекту, яке буде використовуватися в хімічних галузях промисловості	Збільшення продуктивності при проведенні процесу

На даний момент вже розроблена модернізація існуючого обладнання. Гарантується ефективність нововведеної модернізації та її швидка окупність внаслідок збільшення енергоефективності, покращенні основних показників продукції, що виробляється тощо. Проект включає в себе створення технічної документації, креслень застосуванням систем комп'ютерного проектування. Проведено аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначено перелік характеристик ідеї та техніко-економічних властивостей;
- визначено попереднє коло конкурентів, що вже існують на ринку, та проведено збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів;
- проведено порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (таблиця 8.2).

Таблиця 8.2 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Energy Solutions	FUNK E-UKRAINE	PlusTerm			
1.	Вартість, грн	30000	45000	40000	47000	-	-	+

2.	Дослідження та аналіз	має	немає	немає	має	-		+	+
3.	Продуктивність, кг/год	0,8	0,5	0,7	0,58	-		+	-

Основною перевагою над конкурентами є: гарантоване отримання більш високих результатів за короткий термін роботи модернізації. Проект працює за трьома основними критеріями роботи – надійність, ефективність та безпека вироблених виробів. Завдяки співпраці оновлене підприємство стане більш енергоефективним. Тобто підприємство стане більш конкурентоспроможним на ринку в Україні та світі. Також одним з основних напрямків діяльності проекту є: створення кращих робочих умов для працівників та їх безпеки при роботі.

8.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проведено аудит способу, за допомогою якого можна реалізувати ідею проекту та наведено його у таблиці 8.3.

Таблиця 8. 3 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Підвищення продуктивності та енергоефективності	Модернізова на конструкція ковпачка	Зараз багато конструкцій, але процес ректифікації може стати ефективнішим за рахунок модернізації ковпачка.	Дані технології доступні.

Обрана технологія реалізації ідеї проекту: є можливою

Проаналізувавши технологію реалізації, можна зробити висновок, що можливості та методи технологічної реалізації є можливими.

8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначено ринкові можливості, які можна застосувати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть завадити реалізації проекту, дозволяють спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів–конкурентів.

Спочатку проведено аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 8.4).

Таблиця 8.4 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	50 тис. грн/ум.од
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	масштабність
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ГОСТ, ДСТУ, ISO
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	75%

Кількість встановленого обладнання в Європі наближається до 10 млн. В Україні, мова йде про тисячі одиниць обладнання, хоча ринок насичений різними системами європейських, американських, китайських, українських виробників.

Динаміка ринку продажу обладнання представлена на графіку 8.1.

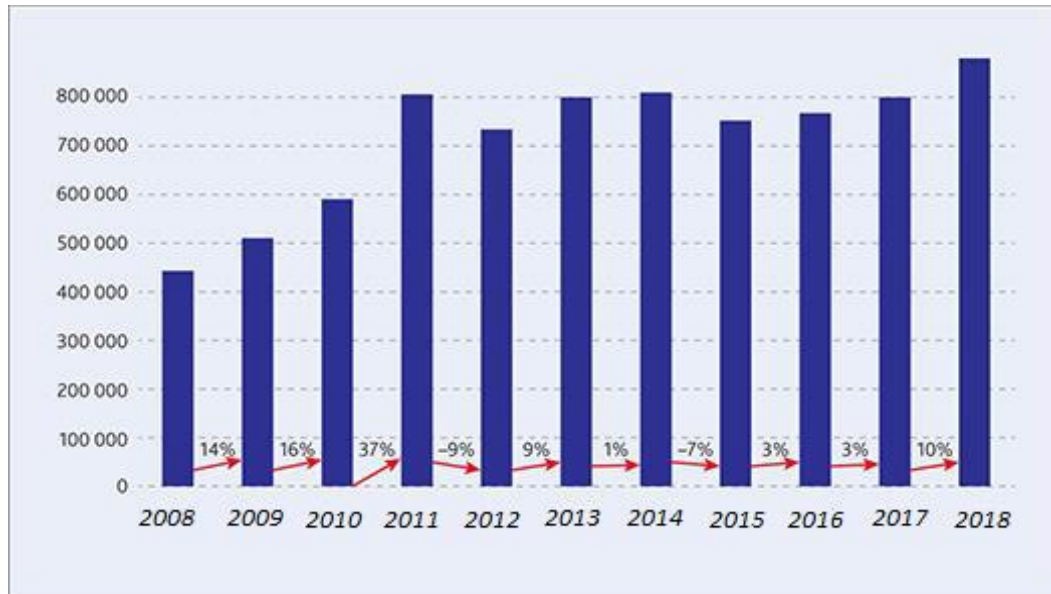


Рисунок 8.1 - Динаміка об'єму виробництва

Споживачі даного ринку розміщені неоднорідно по світу. Найбільше споживачів знаходиться в країнах, що розвиваються. Саме тому ринок обладнання є перспективним.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (таблиця 8.5).

Проаналізуємо докладно фактори маркетингового середовища (табл. 8.6-8.11), на основі яких виділимо фактори загроз (табл. 8.12) і фактори можливостей (8.13).

Таблиця 8. 5 - Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Потреба в енергоефективних колонах, підвищені масообмінну в апаратах.	Компанії, що виготовляють масообмінні апарати, машинобудівельні компанії тощо.	1)ДСТУ, ГОСТ, ISO 2)Доступна ціна в порівнянні з аналогами	- до продукції: енергоефективні апарати та відповідність всім нормативам, щодо міцності, надійності; - до компанії-постачальника: швидке постачання, сервісне обслуговування.

Таблиця 8.6 - Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Науково-технічні: Невідповідність нашої продукції науково-технічному розвитку галузі	Зниження зацікавленості клієнтів до компанії	Пошук та моніторинг актуальних тенденцій в обраній та суміжних сферах діяльності

2	Економічні: інфляція, підвищення цін на матеріали Складний стан економіки України	Впливає на купівлю/продаж товару, або ресурсу необхідного для товару	Підвищення/пониження ціни на продукт Виходити на закордонний ринок
3	Соціально- культурні: «Консервативність споживачів до запровадження інновацій».	Впливає на купівлю/продаж товару, або ресурсу необхідного для товару	Пошук нових клієнтів для виробництва колони у тому числі закордоном

Таблиця 8.6 - Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Науково-технічні: застаріла конструкція обладнання; невідповідність продукції наших споживачів та наших послуг науково- технічному розвитку галузі, створення нових апаратів	Поява нової технології виробництва колон.	Розробка нового обладнання та конструкцій ковпачків. Впровадження даної технології та декларування власної ціни на дану пропозицію.

2	Високий інтелектуальний потенціал компанії	Кваліфіковані, лояльні і добре мотивовані працівники як інструмент для досягнення конкурентних переваг	Оптимізація управління трудовими ресурсами; розробка методів, спрямованих на підвищення продуктивності праці
---	--	--	--

Надалі були визначені загальні риси конкуренції на ринку (табл. 8.8).

8.8 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Олігополія	Невелика кількість конкуруючих фірм, при цьому хоча б одна або дві з них, виробляють значну долю продукції даної галузі.	Пропозиція унікального продукту на ринку, який дозволить знизити високий бар'єр входу на ринок

За рівнем конкурентної боротьби: національний	Менше компаній-конкурентів, за рахунок того, що іноземні компанії не конкурують з національними.	Першим кроком орієнтуватися та виходити на національний ринок, збирати зворотній зв'язок, проблеми та побажання. Охоплювати у співпраці максимальну кількість національних клієнтів, спілкуватися з ними особисто. Паралельно працювати над іміджем компанії.
За галузевою ознакою: Міжгалузева	Масообмінні апарати використовують для різногалузевих виробництв та процесів.	Створення удосконаленого обладнання, яке спрямоване на зниження енергозатрат.
За видами товарів: Товарно-родова	Зосередження конкурентоспроможності на якості товару	Постійний моніторинг ринку щодо появи продуктів(технологій) замінників
За характером : нецінова	Диференціація ціни, надійність	Спостереження за продукцією на ринку. Регулювання якості товару

За інтенсивністю: Марочна	Визначається ступенем переваги і пов'язана з доданими, інструментальними, емоційними характеристиками товарів, а також ступенем просування даної марки	Зосередження конкурентоспроможності на якості товару, наданні додаткових послуг та збільшення асортименту
------------------------------	--	---

Після аналізу конкуренції проводимо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі за моделлю 5 сил М. Портера. Згідно цієї моделі розглядаємо 5 основних сил, які необхідно врахувати перед виходом на ринок, опис наведено в таблиці 8.9.

Таблиця 8.7 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Основні компанії, що виготовляють масообмінні апарати	Недостатність інвестицій, обмежена можливість науково-дослідницьких та досвідно-конструкторських	Існує загроза інтегрування постачальників в бізнес (відома подібна практика закордоном)	Цінова чутливість покупців. Прагнення нових технологій	Фірми роблять схожу продукцію. На даний момент аналогів по показникам немає
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЛН81мп.066211.001 ПЗ
					Арк. 106

Висновки:	Основна перевага – тісне спілкування з клієнтом можна заробити імідж та отримати клієнтів.	Вхід на ринок можливий. Потенційними конкурентами можуть стати схожі підприємства-новатори.	Постачальники загалом не диктують умови.	Клієнту завжди необхідне: Конкурентно спроможне обладнання за низькою ціною	Мінімальне обмеження через товари-замінники.
-----------	--	---	--	---	--

На основі аналізу конкуренції, проведеного в (таблиця 8.9), а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (таблиця 8.3), вимог споживачів до товару (таблиця 8.5) та факторів маркетингового середовища (таблиця № 8.6 -8.7) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлюється за таблиця. 8.10.

Таблиця 8.8 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Договірна ціна	За рахунок зменшення енергозатрат – загальна вартість знижується.
2	Надійність	Клієнт буде отримувати якісну документацію та гарантійне обслуговування
3	Швидкість	Надання послуг в короткі терміни

4	Можливість виходу на закордонний ринок	Інноваційні технології дозволяють впроваджувати ці апарати не тільки на території України.
---	--	--

За визначеними факторами конкурентоспроможності (таблиця 8.16) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (таблиця 8.17).

Таблиця 8.11 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з проектом						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Договірна ціна	11		◇		□		△	
2	Надійність	10			□	◇			
3	Швидкість	14			□	△	△		
4	Комплексний підхід	7			◇	◇			

- ◇ – Tranter;
 △ – даний проект;
 □ – Елерон.

Сильні сторони проекту: ціна; технологія та сервісне обслуговування.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (таблиця 8.13).

Таблиця 8.9. - SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Низька вартість впровадження проекту. - Високий інтелектуальний потенціал компанії - Перевага над конкурентним товаром за рахунок малих габаритів, енергоефективності. - Підвищення продуктивності розробок за рахунок співробітників. - Плідна співпраця з постачальниками на взаємовигідних умовах 	<p>Слабкі сторони :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Низька дохідність проекту. - Не відповідність проекту сучасним тенденціям в галузі. - Невеликий асортимент продукції, що виготовляється (початковий рівень). - Недостатній рівень фінансування
<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Можливість виходу на закордонний ринок - Сучасні технології - Високий рівень енергозбереження та ресурсозбереження загалом - Універсальність застосування модернізованого обладнання 	<p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Поява сучаснішого обладнання - Витіснення конкурентами компанії з ринку - Недостатнє фінансування української промисловості, відсутність інвесторів, недостатня підтримка державою нових підприємців - Недостатність клієнтів, що можуть дозволити собі оновлення систем - Зміна населення.

Таблиця 8.10 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Виготовлення модернізованих апаратів, які можна застосовувати в будь-яких галузях промисловості	80%	1 рік
2	Обслуговування апаратів	93%	6 місяців

Після аналізу обираємо альтернативу підписання довгострокових Після аналізу зазначити обираємо альтернативу виготовлення модернізованих апаратів, які можна застосовувати в будь-яких галузях промисловості.

8.4 Розроблення ринкової стратегії стартап-проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 8.14).

Таблиця 8.14 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входження у сегмент
-------	--	---	--	--------------------------------------	------------------------------

Продовження таблиці 8.14

1.	Приватні компанії	83%	80%	Попит залежить від розміру компанії та фінансового стану	Фірма може створити продукт, що має переваги над товарами конкурентів, завдяки своїй новизні.
2.	Державний сектор	75%	65%	Достатня конкуренція	Високі бар'єри входу на ринок

Які цільові групи обрано: приватні та державні підприємства .

Для здобуття репутації компанії потрібно починати з приватних компаній, а в подальшому розповсюджувати на державні підприємства. Вибрано стратегію концентрованого маркетингу для охоплення ринку.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (табл. 8.15).

Таблиця 8.15 - . Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
-------	--------------------------------------	---------------------------	--	---------------------------

1.	Підписання довгострокових контрактів з провідними компаніями	Диференційований маркетинг	Захисні дії, наслідування лідера	Стратегія диференціації
----	--	----------------------------	----------------------------------	-------------------------

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 8.16).

Таблиця 8.16 - Визначення стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Ні	Треба починати з клієнтів, не зациклених на відомому бренді, тих, хто готовий експериментувати	Ні, не буде. Буде утворено унікальну продукцію	Стратегія зняття конкурентної ніші

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукта (див. таблиця 8.5), а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (таблиця 8.15) та стратегії конкурентної поведінки

(таблиця 8.16) розробляється стратегія позиціонування (таблиця 8.17), що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати проект.

Таблиця 8.17 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	1.Аргументована ціна. 2.Необхідна якість	Концентрований маркетинг	1. Продукція вищої якості за конкурентну 2. Можливість економити на ресурсах	1. Висока якість 2. Надійність. 3. Тривалі контракти

8.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 8.18 потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 8.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Висока актуальність обладнання у різних галузях	Збільшення чистого прибутку. Покращення якості продукту	- Високий інтелектуальний потенціал компанії - Сучасні технології - Підвищення продуктивності процесу та якості товару

- Економічні – вартість обслуговування, експлуатації, утилізації, витратних матеріалів, ремонту, знижки;

- Призначення (технічні) – показники, що визначають головний напрямок використання товару та можливу сферу його застосування: класифікаційні показники, складу і структури, технічної досконалості;

- Надійності – здатність товару безвідмовно функціонувати: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність;

- Технологічні – можливість оптимізації витрат матеріалів, праці, коштів, часу під час технологічної підготовки виробництва, виготовлення та використання товару;

- Органолептичні – визначають властивості товару, які людина може визначити за допомогою своїх органів чуття;

- Ергономічні – показники ступеню адаптованості технічних та конструктивних рішень виробу до біологічних властивостей людини та середовища використання товару: гігієнічні, антропометричні, фізіологічні та психологічні;

- Естетичні – оцінюють зовнішній вигляд товару;

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		114

- Транспортабельності – визначають пристосованість продукції до транспортування, підготовчих, початкових і кінцевих операцій перевезення;
- Екологічності – характеризують рівень негативного впливу на довкілля;
- Безпеки – безпечності та нешкідливості споживання товару.

Формулюємо три рівні товару: товар за задумом, товар у реальному виконанні та товар із підкріпленням. Далі розглядаємо техніко-економічні характеристики кожного рівню товару, отримані дані вносимо до таблиці 8.19

Таблиця 8.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Послуга за задумом	Надання високо кваліфікованого аутсорсингу; зменшення витрат матеріальних і людських ресурсів		
II. Послуга у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Надійність	–/+	+/+/+/+/+
	2. Енерго- та ресурсозбереження		
	3. Доступна ціна		
	4. Інноваційні технології		
	Якість: нормативи, міжнародні та вітчизняні стандарти ДСТУ, ISO, DIN та інші.		
	Пакування – відсутнє		
	Марка: назва організації-розробника назва товару		
III. Послуга із підкріпленням	До продажу : • підписання довготривалого контракту; • доставка; • різні способи оплати;		
	Після продажу: • Гарантія якості продукції		

За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання.

Використання власних запатентованих розробок та методів оптимізації, консультування та шляхів розв'язку проблеми.

Захист буде організовано за рахунок захисту ідеї товару у патентному відомстві.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (таблиця 8.20).

Таблиця 8.20 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	Договірна	Немає	200 тис. грн/міс	Верхня: 30000 грн Нижня: 10000 грн

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (таблиця 8.21).

- проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 8.21 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	В роздріб	-Гарантія -Тестування -Доставка -Ремонт -Допомога введення у експлуатацію -Допомога при запуску	Дворівневий - між виробником і покупцем послідовно існують оптовий і роздрібний продавці	Власна система збуту через інтернет і домовленість про подальшу співпрацю

Система збуту товарів - ключова ланка комерційної діяльності й свого роду фінішний комплекс у всій діяльності фірми по створенню, виробництву й доведенню товару до споживача. Власне, саме тут споживач або визнає, або не визнає всі зусилля підприємства корисними і потрібними для себе і, відповідно, купує або не купує її продукцію і послуги .

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (таблиця 8.22).

Таблиця 8.22 - Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Пошук варіантів розвитку клієнта (покращення параметрів, зменшення затрат тощо).	Інтернет та соціальні мережі, реклама	Надання всієї інформації про нас, гарантій та картки клієнта з подальшим сервісом.	Показати перелік наших послуг та надати інформацію для звернення	«Довговічність і надійність»

Результатом останнього пункту має стати ринкова (маркетингова) програма, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

8.6 Висновки до розділу

В процесі розробки стартап-проекту було розроблено висновки, що можлива ринкова комерціалізація проекту виготовлення колони з

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		118

модернізованими ковпачками. На користь цього свідчить наявність попиту, що виражена потребою енергоефективності обладнання.

У проведеному аналізі було визначено стратегії збуту, та вплив основних факторів на попит послуг, які надаються нашим проектом. Та згідно отриманих даних у нашого проекту є:

- можливість ринкової комерціалізації проекту, оскільки надані послуги наявний попит, динаміка ринку, рентабельність роботи на ринку;

- перспективи впровадження для потенційних груп клієнтів, таких як малі, середні підприємства, що займаються виготовленням нагрівачів та суміжні підприємства.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		119

Висновки

У магістерській дисертації на тему « Модернізація установки ректифікації водяно-метиловій суміші з розробкою ректифікаційного апарата та холодильника» вирішена важлива науково-технічна задача.

. В роботі описано технологічний процес виробництва метилового спирту, вибрана ректифікаційна колона та холодильник, обрані технічні характеристики до цих апаратів, обґрунтовано вибрані конструкції апаратів, зіставлені основні показники розроблених конструкцій з аналогами; проведено патентне дослідження, розроблено заходи щодо вимог охорони праці, проведені розрахунки, що підтверджують працездатність і надійність апаратів, частина розрахунків виконана у вигляді програм з описом методів розрахунку, рекомендацій по установці і робота, стандартизація та уніфікація розроблених пристроїв оцінюються, розробляється проект запуску, технологічний процес виготовлення частини апарату (ковпачок) і схема автоматичного управління технологічним процесом виробництва метилового спирту.

Було модернізовано ковпачок ректифікаційної колони, що забезпечує ефективне бризкоуловлювання, яке істотно підвищує ефективність тарілки та масообмінного апарата в цілому. Підтверджено моделюванням ковпачка.

Графічна частина проекту містить вісім малюнків в перерахунку формату А1, технічні характеристики складені за кресленнями. Наукова частина дисертації містить результати досліджень модернізації ковпачка. В результаті роботи було подано дві заявки на декларативний патент України на корисну модель ковпачка, три тези були опубліковані на міжнародних конференціях і наукова стаття.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		120

Выводы

В магистерской диссертации на тему «Модернизация установки ректификации водно-метилового смеси с разработкой ректификационной колонны и холодильника» решена важная научно-техническая задача.

В работе описано технологический процесс производства метилового спирта, избранные ректификационная колонна и холодильник, избранные технические характеристики до сих аппаратов, обоснованно выбраны конструкции аппаратов, сопоставлены основные показатели разработанных конструкций с аналогами; проведено патентное исследование, разработаны мероприятия по требованиям охраны труда, проведены расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность аппаратов, часть расчетов выполнена в виде программ с описанием методов расчета, рекомендаций по установке и работа, стандартизация и унификация разработанных устройств оцениваются, разрабатывается проект запуска, технологический процесс изготовления части аппарата (колпачок) и схема автоматического управления технологическим процессом производства метилового спирта.

Было модернизировано колпачок ректификационной колонны, что обеспечивает эффективное улавливание брызг, что значительно повышает эффективность тарелки и массообменного аппарата в целом. Подтверждено моделированием колпачка.

Графическая часть проекта содержит восемь рисунков в пересчете формата А1, технические характеристики составлены по чертежам. Научная часть диссертации содержит результаты исследований процесса модернизации колпачка. В результате работы была подано две заявки на декларативный патент Украины на полезную модель колпачка, три тезиса были опубликованы на международных конференциях и научная статья.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		121

Conclusions

In the Master's thesis, an odernization of the rectification unit for water-methyl mixture with the development of a rectification apparatus and a refrigerator the important scientific and technical problem is solved.

The work describes the technological process for the production of methyl alcohol, the selected distillation column and refrigerator, the selected technical characteristics of these devices, the design of the devices was reasonably chosen, the main indicators of the developed structures are compared with analogues; a patent study was carried out, measures were taken for labor protection requirements, calculations were made confirming the operability and reliability of the devices, some calculations were made in the form of programs with a description of calculation methods, installation recommendations and work, standardization and unification of the developed devices are evaluated, a launch project, a technological process are developed manufacturing a part of the apparatus (cap) and a scheme for the automatic control of the technological process for the production of methyl alcohol.

The cap of the distillation column was modernized, which ensures efficient trapping of the spray, which significantly increases the efficiency of the plate and the mass transfer apparatus as a whole. Confirmed by modeling the cap.

The graphic part of the project contains eight figures in terms of A1 format, technical specifications are drawn up according to the drawings. The scientific part of the dissertation contains the results of studies on the process of modernizing the cap.

As a result of the work, two applications were submitted for the declarative patent of Ukraine for a utility model of the cap, three theses were published at international conferences and a scientific article.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		122

Перелік посилань

1. Юкельсон И.И. Технология основного органического синтеза. – М.: Издательство “Химия”, 1968. – 848 с.
2. Дытнерский Ю.И.. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов / Дытнерский Ю.И.. В 2-х частях. – М.: Химия, 1995.
3. ГОСТ 5632 – 72
4. ГОСТ 380-94
5. Патент № 127769 UA Україна, МПК(2018.01) B04B 7/00 заявлено 12.02.2018, опубл. 27.08.2018
6. Патент № 124246 UA Україна, МПК(2018.01) B01D 3/00; B01J 19/30, заявлено 20.11.2017, опубл. 26.03.2018
7. Патент № 2680064 RU Росія, МПК(2006.01) B01D 3/16, заявлено 10.04.2018, опубл. 14.02.2019
8. Патент № 208660397 CN Китай, МПК(2006.01) B01D 3/14, B01D 3/32 заявлено 24.05.2018, опубл. 29.03.2019
9. Патент № 208770872 CN Китай, МПК(2006.01) B01D 3/00, B08D 9/08 заявлено 04.06.2018, опубл. 23.04.2019
10. Патент № 130328 UA Україна, МПК(2006.01) F28D 7/00; F28F 1/40, F28F 13/12 заявлено 25.04.2018, опубл. 10.12.2018
11. Патент № 133722 UA Україна, МПК(2006.01) B01D 1/06, заявлено 28.09.2018, опубл. 25.04.2019
12. Патент № 133145 UA Україна, МПК(2006.01) F28D 7/16; F28F 13/08, заявлено 17.10.2018, опубл. 25.03.2019
13. Патент № 209230403 CN Китай, МПК(2006.01) F28G 13/00; заявлено 28.11.2018, опубл. 09.08.2019
14. Патент № 209230365 CN Китай, МПК(2006.01) F28D 7/16; F28F 9/26; F28F 11/02 заявлено 28.11.2018, опубл. 09.08.2019
15. Александров И.А.. Ректификационные и абсорбционные аппараты. Методы расчета и основы конструирования – М.: Химия, 1971. – 296

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		123

- 16.Зубрий О.Г.. Алгоритм расчета колонных аппаратов. Методические указания к применению ЭВМ по курсу «Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств» для студентов всех форм обучения / В.Т.Миргородский, О.Г.Зубрий, В.Л.Кочеров. – Киев: КПИ, 1986. – 36с.
- 17.ГОСТ 14249-89 «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность».
- 18.Андреев І.А. Конструювання і розрахунок типового устаткування хімічних виробництв. Основні положення. Елементи тонкостінних посудин, навантажених внутрішнім тиском: навч. посіб./ — К: НТУУ «КПІ», 2011. — 272 с. — 300 пр.
- 19.Андреев І.А. Конструювання та розрахунок опор колонних апаратів: Навч. посібник / І.А.Андреев. – К.: ІЗМН, 1997. – 80 с.
- 20.Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии: Учебник для техникумов / Иоффе И.Л. – Л.: Химия, 1991. – 352 с.
21. Лащинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник / Лащинский А. А. – Л.: Машиностроение. 1981. – 382 с.
22. Лащинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / Лащинский А. А. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.
- 23.Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков В.Н. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.
24. Практикум із охорони праці: Навч. посіб. / В.Ц. Житецький, В.С. Джигирей, В.М. Сторожук та ін.; За ред. В. Ц. Житецького. – Львів: Афіша, 2000. – 352 с.
- 25.Михалев М. Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств / Михалев М. Ф. – Л.: Машиностроение, 1984.

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		124

- 26.Маркетинг стартап-проектів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для усіх спеціальностей другого освітнього ступеню «магістр» / С. О. Солнцев, О. В. Зозульов, Н. В. Юдіна, Т. О. Царьова, Н. В. Язвінська ; за заг. ред. С.О. Солнцева ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 3,2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 218 с. URL : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27437>
- 27.Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
- 28.Standard Management Systems QUALITY MANAGEMENT Textbook for students and post-graduate students on specialty 131 "Applied mechanics"/ S. Fomichov, A. Banin, I. Skachkov, V. Lysak, O. Gaievskiy, N. Yudina, Kiev: KIM, 2018 – P. 266
- 29.Форсайт економіки України: середньостроковий (2015–2020 роки) і довгостроковий (2020–2030 роки) часові горизонти / наук. керівник проекту акад. НАН України М. З. Згуровський // Міжнародна рада з науки (ICSU); Комітет із системного аналізу при Президії НАН України; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»; Інститут прикладного системного аналізу НАН України і МОН України; Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку. — Київ : НТУУ «КПІ», 2015. — 136 с. ISBN 978-966-622-716-7.
- 30.Yudina N.V. Methods of the Startup-Project Developing Based on ‘the Four-Dimensional Thinking’ in Information Society // Marketing and Management of innovations. – 3’2017. – P.245-256.-DOI:10.21272/mmi.2017.3-23 Access mode : <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/journals/2017/3/245-256>
- 31.Юдіна Н.В. Міждисциплінарні платформи стартап-проектів [Електронний ресурс] // Міждисциплінарні дискусії : Матеріали науково-теоретичного семінару «Міждисциплінарні дослідження: теоретико-методологічні виміри», 5 грудня 2017 р. – Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка Інститут

					ЛН81мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		125

міжнародних відносин Навчально-науковий центр «Синтез». – 2017. – С. 20-24. - Режим доступу [http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20seminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20\(1\).pdf](http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20seminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20(1).pdf)

- 32.Юдіна Н. В. Визначення циклічних залежностей в економіці України на основі аналізу окремих макроекономічних показників. Економічний Вісник НТУУ «КПІ». №13(2016). <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/80084/75643>
- 33.Юдина Н. В. Антикризисные маркетинговые инструменты инновационного развития предприятий / Н.В. Юдина // Маркетинг и финансы. – 2014. – Т. 1. – С. 60– 72.
- 34.Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризове управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, КНЕУ ім. В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). – 2015. - С. 124-127. – Режим доступу : http://futurollog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml.
- 35.Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризове управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, КНЕУ ім. В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). – 2015. - С. 124-127. – Режим доступу : http://futurollog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml
- 36.Юдіна Н. В. «Дорожня карта» підприємства у контексті футурології техногенної економіки. Традиції і інновації. [Електронний ресурс] / Н. В. Юдіна // Інновації та фундаментальні науки в умовах техногенної економіки : зб. матеріалів міждисциплінар. наук.-практ. конф., Київ, 25 листоп. 2016 р. / [уклад. Л. І. Юдіна]. – К., 2016. – Режим доступу : <http://futurollog.com.ua/publish/2/Zbirnyk.pdf#page=6>.